SKF

Lo que deben saber los rebobinadores acerca de los rodamientos

Manual para una buena salud de los rodamientos

Programa de certificación

Programa de certificación

Índice **Página**

1. Introducción 3

2. Rodamientos SKF en motores eléctricos 4
Misión de los rodamientos 4
Componentes de los rodamientos 5
Rodamiento fijo o libre 5
Tipos principales de rodamientos en motores eléctricos 6
Otros tipos de rodamientos 9
Ejemplos de designación 9

3. Uso de los rodamientos 11

4. Disposiciones de rodamientos en motores eléctricos 14
Disposición axial de los rodamientos 14
Ejemplos de disposiciones de rodamientos 14
Disposiciones para accionamientos por acoplamiento 15
Disposiciones para transmisiones por correa 16
Disposición para una alta carga axial 17
Soportes de aluminio 18

5. Desmontaje de los rodamientos 19
Preparativos 19
Desmontaje 19
Desmontaje de rodamientos de gran tamaño 21
Procedimientos posteriores al desmontaje 21

6. Análisis de las averías de los rodamientos 22
Desarrollo de daños por fatiga 22
Causas de avería de los rodamientos 22
Daños relacionados con el proceso de rebobinado 23

7. Lubricación de los rodamientos 26
Lubricación y duración de los rodamientos 26
Capacidad de formación de película 27
Ejemplos de lubricación 27
Aditivos 28
SKF SYSTEM 24 30
Engrase de los rodamientos 30
Cómo se engrasa un rodamiento 31
¿Cuánto tiempo dura la grasa? 32
Procedimiento de relubricación con grasa 33
Válvula de escape de grasa 33
Lubricación con aceite 34
Retenes 34

8. Montaje de los rodamientos 35
Tolerancias y ajustes 35
Intercambio de rodamientos 39
Preparativos previos al montaje 39
Montaje en frío 40
Montaje en caliente 41
Aspectos a considerar 41
Procedimientos posteriores al montaje 44

Lo que deben saber los rebobinadores acerca de los rodamientos

Programa de certificación

Made by SKF® significa excelencia. Simboliza nuestro empeño continuo por lograr la calidad total en todo lo que hacemos. Para los que utilizan nuestros productos, ”Made by SKF” representa tres ventajas principales.

Fiabilidad – gracias a productos modernos y eficientes, basados en nuestros conocimientos de aplicaciones en todo el mundo, materiales optimizados, diseños que miran al futuro y las técnicas de producción más avanzadas.

Rentabilidad de la inversión – como resultado de la favorable relación entre la calidad de nuestros productos y el servicio prestado, y el precio de compra del producto.

Liderazgo del mercado – que usted podrá conseguir aprovechando las ventajas de nuestros productos y servicios. Mayor duración de servicio y menor tiempo improductivo, así como una mejor producción y calidad de los productos son la clave para una colaboración fructífera.

1. Introducción

Antecedentes

La manipulación y el montaje de los rodamientos se deben realizar con los métodos y herramientas apropiados para no ocasionar daños iniciales que, con el tiempo, puedan agravarse y provocar averías de los rodamientos. Cuando se examinan los rodamientos averiados no es inusual comprobar que el motivo básico del daño se produjo durante el montaje.

Con este material de formación ”Lo que deben saber los rebobinadores acerca de los rodamientos, Programa de certificación”, SKF ofrece al rebobinador la posibilidad de aprender sobre los rodamientos de los motores eléctricos e instruirse en el manejo, montaje, desmontaje y lubricación de los mismos.

De esta forma podrán evitarse averías innecesarias de los rodamientos y mejorar la calidad del trabajo del rebobinador.

Ventajas para la empresa de rebobinado

La formación y entrenamiento de los rebobinadores en el manejo de los rodamientos permitirán un trabajo más rápido y una mayor calidad de la parte mecánica del reacondicionamiento de motores. El resultado será un menor número de fallos y una mejor rentabilidad de la empresa.

Ventajas para el rebobinador

Tras la realización del curso ”Lo que deben saber los rebobinadores acerca de los rodamientos, Programa de certificación”, mejorará la capacitación del rebobinador. Esto le aportará una mayor satisfacción en el trabajo y una ventaja competitiva en el mercado.

Una estrecha relación

La colaboración con SKF garantiza los mejores rodamientos, productos afines y soporte técnico, además de un suministro seguro. SKF tiene filiales y distribuidores en todo el mundo. En cualquier parte que se encuentre, estará cerca de SKF.

2. Rodamientos SKF en motores eléctricos

Misión de los rodamientos

La misión de los rodamientos en los motores eléctricos es

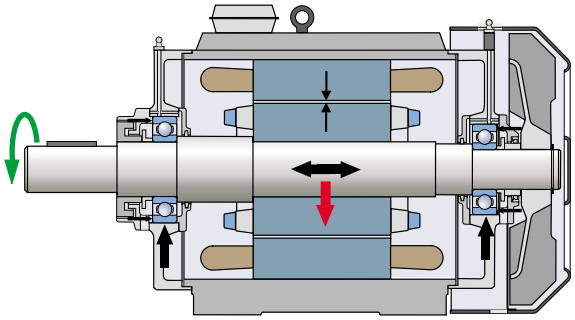


Fig. 2:1 Función de los rodamientos

- Soportar el rotor
- Fijar el rotor
- Mantener un entrehierro pequeño y uniforme
- Transferir las cargas del eje al bastidor del motor
- Permitir unas velocidades tanto bajas como altas
- Reducir el rozamiento y ahorrar energía

La naturaleza del rozamiento es compleja. Opone resistencia al movimiento entre dos superficies en contacto y su magnitud es proporcional a la carga perpendicular que actúa sobre las superficies. El grado de rozamiento depende también de otros factores como la rugosidad y la dureza de las superficies, de si hay lubricante o no, etc. El rozamiento contrarresta siempre el sentido del movimiento. La magnitud del la rozamiento se calcula por medio del coeficiente de rozamiento, μ, cuyo valor se determina empíricamente.

El rozamiento alcanza su valor más alto cuando no se produce ningún movimiento entre las superficies (rozamiento estático). Cuando las superficies se mueven una contra otra, el rozamiento es mucho más bajo (rozamiento originado por el deslizamiento). Además, también debemos distinguir entre el rozamiento causado por el deslizamiento y el rozamiento de rodadura, mucho más bajo.

Rozamiento de rodadura

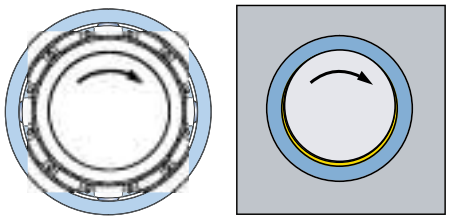
Con la rueda, uno de los inventos más importantes de la humanidad, el rozamiento originado por el deslizamiento fue reemplazado por el rozamiento de rodadura, mucho más bajo. Mientras que el deslizamiento tiene un coeficiente de rozamiento de 0,1–0,2, el coeficiente del rozamiento de rodadura tiene una magnitud de 0,001–0,002. En los cojinetes lisos, que funcionan en condiciones de rozamiento por deslizamiento, la lubricación hidrodinámica reduce el rozamiento cuando los cojinetes giran a una determinada velocidad. Sin embargo, el rozamiento en el arranque es muy alto y no pueden funcionar a bajas velocidades.

Rodamientos frente a cojinetes lisos

La mayoría de los rodamientos de motores eléctricos están lubricados con grasa, lo cual significa que el motor se puede instalar vertical u horizontalmente.

Los motores eléctricos equipados con cojinetes lisos deben estar prediseñados ya sea para instalación horizontal o vertical.

Los rodamientos se pueden utilizar a diversas velocidades, mientras que los cojinetes están diseñados para un rango de velocidad predefinido.



Rodamientos frente a cojinetes lisos

Condición	Rodamientos	Cojinetes lisos
Par de rozamiento, arranque	1	28–80
Par de rozamiento, funcionando	~0,5	~1,4
Lubricación, grasa	Sí	No
Lubricación, aceite	Sí	Sí
Montaje vertical	Sí	Debe estar prediseñado
Baja velocidad	Sí	Sí
Alta velocidad	Sí	No

Fig. 2:2 Rodamientos y cojinetes lisos

Componentes de los rodamientos

Los rodamientos SKF constan normalmente de cinco componentes:

1. Aro exterior – que encaja en el soporte
2. Aro interior – que encaja en el eje
3. Elementos rodantes – bolas o rodillos, que permiten la rotación y transmiten las cargas de un aro al otro
4. Jaula – que mantiene los elementos rodantes separados unos de otros
5. Placas de protección o retenes (disponibles, por ejemplo, en los rodamientos rígidos de bolas)

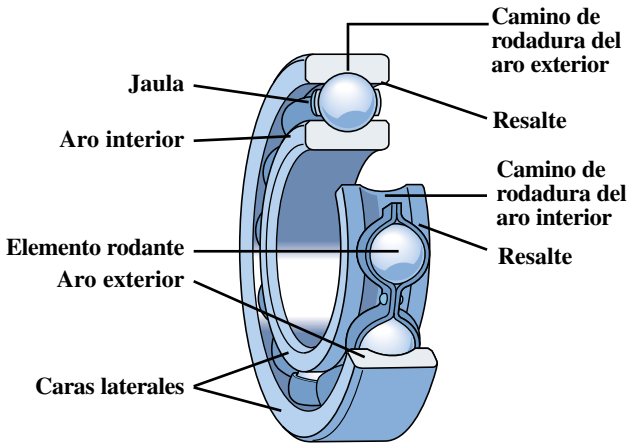


Fig. 2:3 Componentes de un rodamiento rígido de bolas

Aros

El material de los aros exterior e interior es el acero para rodamientos martensítico limpio desarrollado especialmente por SKF. El alto acabado superficial, combinado con una dureza de 58–62 HRC, reduce el desgaste y disminuye el riesgo de fatiga, lo cual significa una larga duración de servicio.

Elementos rodantes

Para los elementos rodantes se emplea el mismo acero de alta calidad que para los aros. Tienen el mismo alto acabado superficial, pero una dureza de 60–64 HRC.

Diseños de jaula

La jaula es vital para el funcionamiento del rodamiento. Los tipos de rodamientos SKF que se utilizan en motores eléctricos tienen jaulas de tres diseños probados, fabricadas de tres materiales distintos:

- Chapa de acero embutida
- Poliamida 6,6
- Latón mecanizado

Fig. 2:4 Ejemplos de diseños de jaula

Las jaulas de chapa de acero embutida son resistentes y permiten unas elevadas temperaturas (A).

Las jaulas de poliamida 6,6 tienen la mayor capacidad de velocidad y son menos sensibles a la lubricación marginal. Confieren al rodamiento un funcionamiento silencioso, pero no se pueden usar a temperaturas superiores a 120 °C durante largos períodos (B).

Las jaulas mecanizadas de latón son resistentes y las que mejor soportan la vibración, por ejemplo debido al desequilibrio (C).

Placas de protección o retenes

Los rodamientos rígidos de bolas están disponibles con tres disposiciones de obturación alternativas en uno o en ambos lados. Los rodamientos con retenes en ambos lados están engrasados de por vida y bien protegidos contra la contaminación durante su manejo y mientras funcionan.

Rodamiento fijo o libre

En la mayoría de las disposiciones de rodamientos para motores eléctricos, un rodamiento tiene la función de fijar el eje axialmente, el rodamiento fijo. El otro, el rodamiento libre, debe tener libertad para moverse axialmente con el fin de permitir la dilatación térmica y la contracción del eje en relación con los soportes.

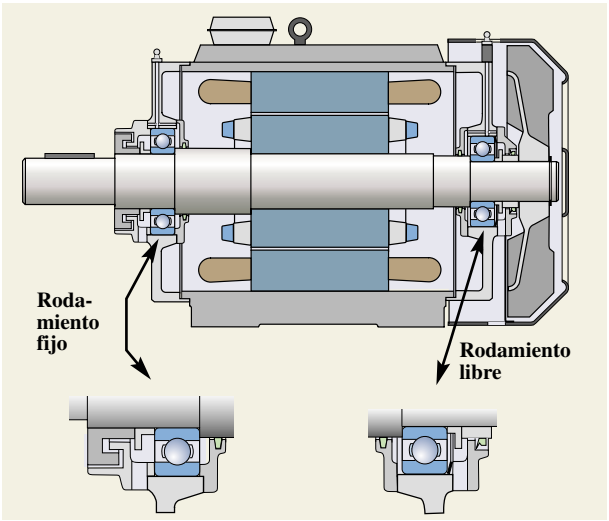


Fig. 2:5 Rodamientos fijos y libres

En disposiciones con dos rodamientos rígidos de bolas, éstos se montan con frecuencia en una disposición cruzada, lo cual significa que se fijan al eje axialmente en un sentido cada uno.

Temperatura de funcionamiento admisible
Los rodamientos SKF pueden funcionar generalmente a unas temperaturas de hasta aprox. 120 °C. Sin embargo, cuando deban funcionar continuamente a temperaturas de 100 °C o más, es aconsejable consultar primero con SKF.

Si la temperatura de funcionamiento es superior a 120 °C, los rodamientos deben ser sometidos a un tratamiento térmico especial (estabilización), de modo que no se produzcan cambios de dimensiones inadmisibles como resultado de los cambios estructurales en el acero.

Tipos principales de rodamientos en motores eléctricos

Rodamientos rígidos de bolas
Para motores eléctricos de tamaño pequeño y mediano se especifican frecuentemente rodamientos rígidos de una hilera de bolas. En relación con sus dimensiones principales, tienen una considerable capacidad de carga radial y axial.

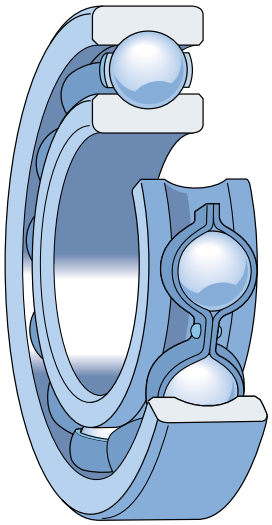


Fig. 2:6 Rodamiento rígido de bolas con jaula de chapa de acero

Sin embargo, para el lado de accionamiento de motores con transmisiones por correa, las cargas radiales son altas, por lo que deben utilizarse normalmente rodamientos de rodillos.

Principales características de los rodamientos rígidos de bolas
- Rodamiento universal con buena capacidad de carga radial y axial, seleccionado normalmente para motores de tamaño pequeño y mediano
- Permiten diseños de motor con una disposición de rodamientos precargada con muelles, para una alta precisión y un funcionamiento silencioso
- Versiones obturadas, engrasadas de por vida
- Disponibles en versión obturada con la grasa WT de alto rendimiento y amplio rango de temperatura

En las tablas de rodamientos aparecen muchas variantes de rodamientos rígidos de bolas para cada fabricante de motores. En la sección ”Ejemplos de designación” se dan algunos ejemplos de las diferentes designaciones.

Versiones obturadas
Los rodamientos rígidos de bolas están disponibles en tres diseños obturados.

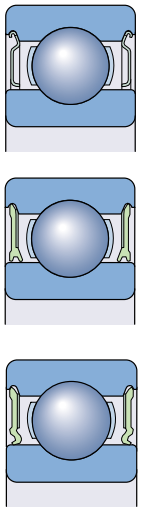


Fig. 2:7 Versiones obturadas de rodamientos rígidos de bolas

Placas de protección metálicas 2Z: Este diseño tiene una retención de grasa moderada y el mismo rozamiento y velocidad nominal que los rodamientos abiertos. Tiene una eficacia de obturación media.
Retenes de bajo rozamiento 2RZ: Este diseño se caracteriza por una buena obturación y retención de grasa, y tiene la misma velocidad nominal que un rodamiento abierto.
Retenes rozantes 2RS1: Las propiedades de estos retenes son una retención de grasa y eficacia de obturación excelentes, pero una reducida velocidad nominal debido al mayor rozamiento.

SKF ha desarrollado una gama de rodamientos de bolas protegidos y obturados (2Z y 2RS1) cargados con una nueva grasa de alto rendimiento. Esta es la recomendación estándar de SKF para aplicaciones de motores eléctricos. Los rodamientos que llevan esta grasa tienen el sufijo de designación **WT**, que procede de los términos ingleses **"Wide Temperature"**.

Esta grasa se puede usar en una amplia gama de temperaturas, tanto altas como bajas (vea la página 29), y ofrece al mismo tiempo una larga duración de servicio. Se trata de una moderna grasa basada en un espesante de poliurea con un aceite base de éster.

Rodamientos de rodillos cilíndricos

Los rodamientos de rodillos cilíndricos tienen una capacidad de carga radial mayor que los rodamientos de una hilera de bolas de las mismas dimensiones principales.

Se usan ampliamente en el lado de accionamiento de motores eléctricos de tamaño mediano y grande accionados por correa. Los tipos N y NU se emplean normalmente como rodamientos libres, ya que tanto el aro interior como el exterior se pueden montar con ajuste de interferencia y cualquier desplazamiento se absorbe dentro del rodamiento.

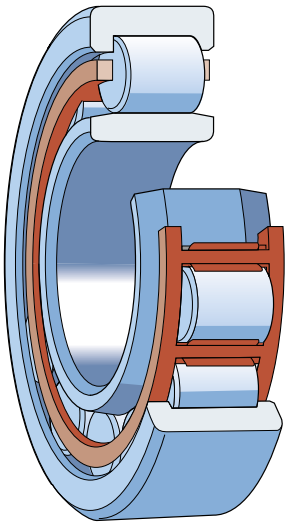


Fig. 2:8 Rodamiento de rodillos cilíndricos del diseño NU

Los rodamientos de una hilera de rodillos cilíndricos pueden absorber una desalineación muy limitada del aro interior con relación al aro exterior.

Principales características de los rodamientos de rodillos cilíndricos

- Alta capacidad de carga radial, adecuada para motores de accionamiento por correa
- Excelentes para la posición libre, ya que permiten el desplazamiento axial del eje sin imponer ninguna carga axial interna entre los rodamientos
- Disponible en muchos diseños, tanto para posiciones fijas como libres

Los diferentes diseños

Los rodamientos de rodillos cilíndricos están disponibles en cuatro diseños básicos:

- El tipo NU (rodamiento libre), con dos pestañas integrales en el aro exterior.
- El tipo N (rodamiento libre), con dos pestañas integrales en el aro interior.
- El tipo NJ con dos pestañas integrales en el aro exterior y una pestaña integral en el aro interior; puede fijar el eje axialmente en un sentido.
- El tipo NUP con dos pestañas integrales en el aro exterior y un aro interior con una pestaña integral y otra suelta; puede fijar el eje axialmente en ambos sentidos.

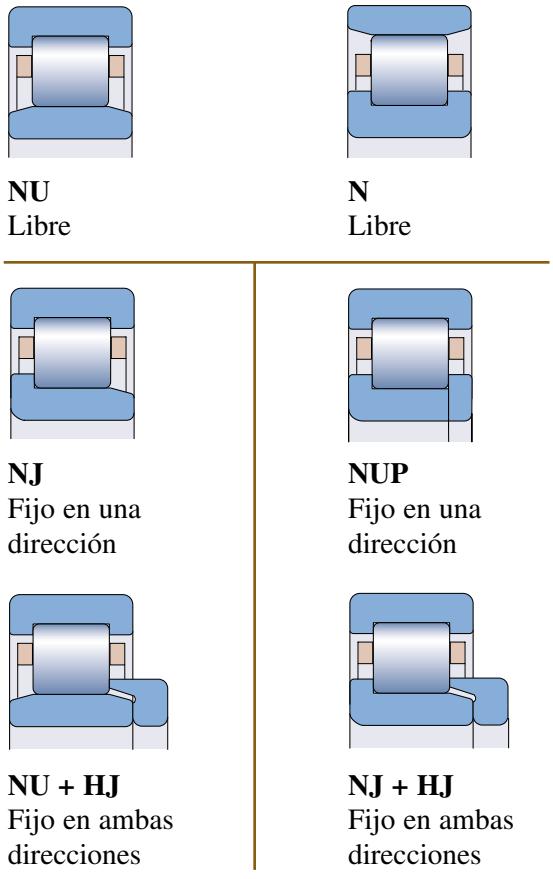


Fig. 2:9 Los diseños de rodamientos de rodillos cilíndricos para motores eléctricos

El tipo NU en combinación con un aro angular HJ puede fijar el eje axialmente en un sentido, mientras que el tipo NJ, si se utiliza con un aro angular HJ, puede fijar el eje axialmente en ambos sentidos.

Las jaulas estándar para rodamientos de rodillos cilíndricos pueden ser de poliamida 6,6 reforzada con fibra de vidrio, de chapa de acero o mecanizadas de latón. Los diseños de rodamientos de rodillos cilíndricos para motores eléctricos se muestran en la figura 2:9.

Para determinar la carga axial admisible para los distintos diseños de rodamientos de rodillos cilíndricos, vea el Catálogo General SKF o el Catálogo Interactivo de Ingeniería SKF. En la sección ”Ejemplos de designación” se dan algunos ejemplos de las diferentes designaciones.

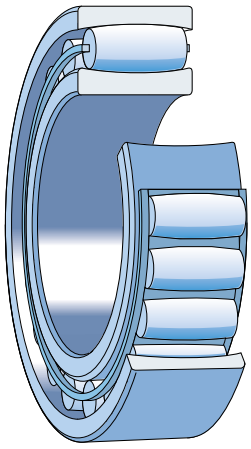


Fig. 2:10 Rodamiento de rodillos toroidal CARB

CARB®

El CARB es un rodamiento de rodillos toroidal que puede hacer frente a una considerable desalineación entre los aros exterior e interior, absorbiendo a la vez un cierto grado de movimiento axial.

Los rodamientos CARB se deben utilizar en la posición libre y pueden reemplazar a los rodamientos de rodillos cilíndricos en motores eléctricos. Tanto el aro interior como el exterior pueden tener un ajuste de interferencia. Los rodamientos CARB utilizados en motores eléctricos deben tener una jaula.

Rodamientos INSOCOAT®

Estos rodamientos son una evolución de los rodamientos estándar (normalmente rodamientos rígidos de bolas o rodamientos de rodillos cilíndricos), donde el diámetro externo del aro exterior va dotado de un revestimiento de aislamiento eléctrico.

Fig. 2:11 Rodamiento rígido de bolas del diseño INSOCOAT

Este revestimiento consiste en una capa de óxido de aluminio y resina, que impide o reduce el riesgo de que la corriente eléctrica pase a través del rodamiento. De lo contrario, el daño debido a la corriente eléctrica reduce considerablemente la duración del rodamiento. Los rodamientos INSOCOAT tienen el sufijo de designación VL0241 (anteriormente VL024).

Normalmente, el rodamiento INSOCOAT se coloca en el lado opuesto al accionamiento, para evitar que circule la corriente del motor.

Los rodamientos INSOCOAT se montan de la misma forma que el tipo de rodamiento básico.

Fig. 2:12 Rodamiento rígido de bolas híbrido

Rodamientos híbridos
Los rodamientos híbridos tienen elementos rodantes (bolas o rodillos) fabricados de nitruro de silicio, un material cerámico sólido, en lugar de acero.

La principal ventaja para las aplicaciones de motores es la propiedad aislante del nitruro de silicio, que impide la conducción de corriente eléctrica a través del rodamiento.

Los rodamientos híbridos tienen otras muchas ventajas, incluida una mayor duración del lubricante, una menor sensibilidad a la diferencia de temperatura entre los aros exterior e interior y una mayor rigidez. Los rodamientos híbridos pueden reemplazar a cualquier rodamiento estándar del correspondiente tipo.

Los rodamientos híbridos sin retenes están totalmente aislados. En las versiones obturadas, el tipo de retén puede influir en el aislamiento.

Otros tipos de rodamientos

Rodamientos de bolas con contacto angular
En los motores de tamaño medio y grande montados verticalmente, la carga axial del rotor y del acoplamiento es absorbida frecuentemente por un rodamiento de una hilera de bolas con contacto angular combinado con un rodamiento rígido de bolas.

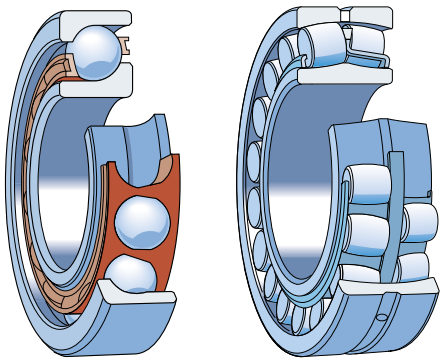


Fig. 2:13 Rodamiento de una hilera de bolas con contacto angular y rodamiento de rodillos a rótula

Rodamientos de rodillos a rótula
Para mayores cargas y menores velocidades, a veces se pueden usar rodamientos de rodillos a rótula.

Fig. 2:14 Unidad de rodamiento sensorizado

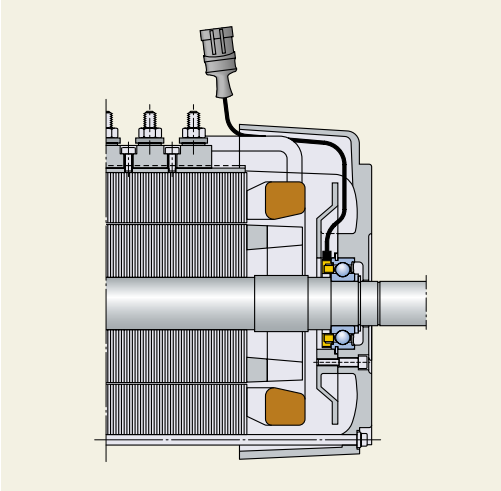


Fig. 2:15 Unidad de rodamiento sensorizado en un motor eléctrico utilizado, por ejemplo, en una carretilla elevadora

Unidades de rodamiento sensorizado
Las unidades de rodamiento sensorizado combinan en una unidad la función normal de un rodamiento con un sensor de incremento de velocidad capaz de medir la velocidad, la posición, la aceleración y el sentido de rotación. Los rodamientos sensorizados SKF son compactos, sin mantenimiento y listos para montar.

Ejemplos de designación

6309/C3
Rodamiento rígido de una hilera de bolas de la serie 63 con juego C3.

6205-2Z/C3WT
Rodamiento rígido de una hilera de bolas de la serie 62 con una chapa de protección a cada lado del rodamiento, juego C3 y cargado con la grasa SKF WT estándar para motores eléctricos.

NU 1034 ML/C3
Rodamiento de una hilera de rodillos cilíndricos de la serie 10, con dos pestañas integrales en el aro exterior, jaula mecanizada de latón guiada en las pestañas y juego C3.

N 314 ECP
Rodamiento de una hilera de rodillos cilíndricos de la serie 3, con dos pestañas integrales en el aro interior, diseño EC (diseño interno perfeccionado) y una jaula de poliamida

22314 E
Rodamiento de rodillos a rótula de la serie 223, diseño E (diseño interno mejorado y con una ranura de lubricación y tres agujeros en el aro exterior).

Para una descripción más completa de las designaciones, por favor consulte el Catálogo General SKF 4000 o el Catálogo Interactivo de Ingeniería SKF (CD-ROM o en el sitio web www.skf.com).

3. Uso de los rodamientos

Cuando se sustituyen rodamientos en motores eléctricos, la norma básica es usar un rodamiento igual que el especificado por el fabricante del motor. Los motores pueden funcionar en unas condiciones ambientales muy diferentes de las consideradas normales por su fabricante. Esto puede dar lugar a averías imprevistas de los rodamientos. En tales casos, es muy importante examinar a fondo el rodamiento después de su desmontaje con el fin de determinar la causa del problema, de modo que se puedan adoptar las medidas apropiadas para evitar que se repita la avería.

Cargas del rodamiento

Los rodamientos están sometidos a las cargas de la masa del rotor y a cargas externas, por ejemplo, una correa de transmisión. Estas cargas actúan perpendicularmente al eje y se denominan radiales. Los rodamientos transmiten estas cargas desde el eje giratorio al bastidor del motor.

En los motores con rodamientos rígidos de bolas dispuestos en montaje cruzado, los rodamientos suelen estar precargados por un muelle que actúa sobre el aro exterior del rodamiento libre. Este diseño produce cargas sobre ambos rodamientos en sentido axial. Estas cargas se denominan axiales o de empuje.

Para calcular la duración de un rodamiento, deben conocerse las cargas que actúan sobre el mismo.

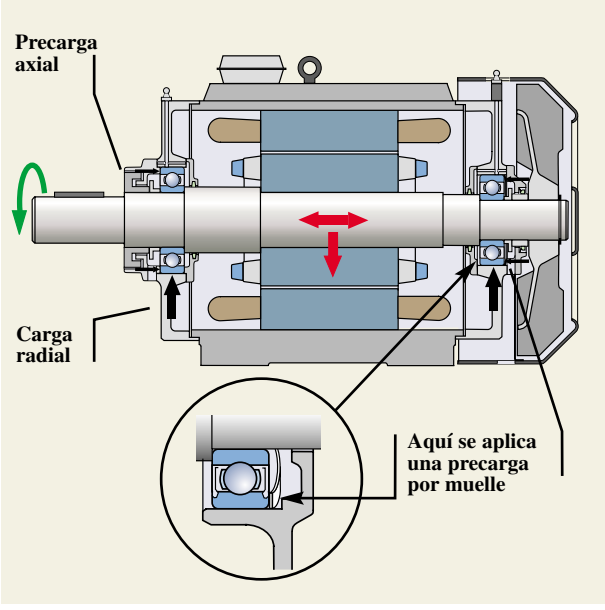


Fig. 3:1 Cargas radial y axial en los rodamientos

Duración de los rodamientos

La duración nominal de los rodamientos se define como el número de revoluciones (o el número de horas de funcionamiento a una velocidad constante dada) que un rodamiento puede soportar antes de que aparezca la primera señal de fatiga (desconchado) en uno de sus aros o elementos rodantes.

Sin embargo, las pruebas de laboratorio y la experiencia práctica muestran que rodamientos aparentemente idénticos funcionando en condiciones idénticas, tienen unas duraciones diferentes.

La ”duración de servicio” de un rodamiento depende en gran medida de las condiciones de funcionamiento, aunque los procedimientos de montaje y mantenimiento son igual de importantes. A pesar de todas las precauciones posibles, un rodamiento puede experimentar una avería prematura. En este caso, es vital examinar cuidadosamente el rodamiento para determinar el motivo del fallo, de modo que puedan adoptarse medidas preventivas.

La ”duración especificada” es la duración fijada por el fabricante del motor y está basada en datos hipotéticos de carga y velocidad. Por ejemplo, la duración nominal a la máxima carga permitida es un mínimo de 20 000 horas.

En condiciones de funcionamiento específicas, los rodamientos SKF pueden lograr una duración mucho más prolongada que la predicha por métodos normales o tradicionales de cálculo de duración, particularmente cuando las cargas son ligeras. Estas condiciones específicas existen cuando las superficies de rodadura (caminos de rodadura y elementos rodantes) son separadas eficazmente por una película de lubricante y cuando el daño que los contaminantes producen en la superficie es limitado. De hecho, en condiciones ideales, es posible hablar de duración infinita.

Juego interno del rodamiento

El juego interno de un rodamiento se define como la distancia que se puede mover un aro con relación al otro en sentido radial (juego interno radial) o en sentido axial (juego interno axial).

Actualmente, el juego radial más común en motores eléctricos es una clase mayor que Normal, designado C3. El juego de los rodamientos de bolas y de rodillos cilíndricos se mide siempre radialmente. El juego del rodamiento absorbe la expansión del aro interior resultante de su ajuste de interferencia en el eje, y de la diferencia de temperatura entre los aros interior y exterior mientras funciona el motor.

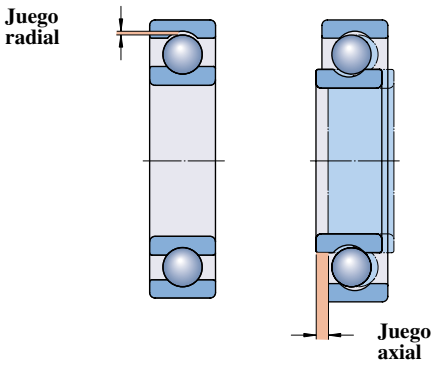


Fig. 3:2 Juego interno radial y axial en los rodamientos

Un juego demasiado pequeño puede dar lugar a un fallo del rodamiento.

No cambie nunca de C3 a juego Normal. Los rodamientos con juego C3 están marcados en el aro exterior con C3. Los rodamientos con juego Normal no tienen ninguna marca del juego en el aro exterior.

Las tablas de juego interno de los rodamientos se encuentran en el Catálogo General SKF o en el Catálogo Interactivo de Ingeniería SKF.

Fijación radial de los rodamientos

Para poder aprovechar al máximo la capacidad de carga de un rodamiento, sus aros deben quedar totalmente apoyados en toda su circunferencia y en toda su anchura. Esto significa que los asientos deben tener la precisión adecuada. Para más información, vea la sección ”Montaje de rodamientos – Tolerancias y ajustes”.

Fijación axial de los rodamientos

La fijación axial correcta de un aro de rodamiento requiere algo más que un ajuste de interferencia. Es necesario algún medio adecuado adicional para una fijación axial segura del aro.

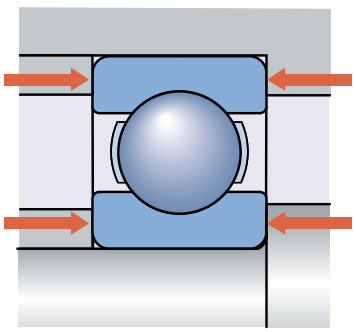


Fig. 3:3 Rodamiento fijo

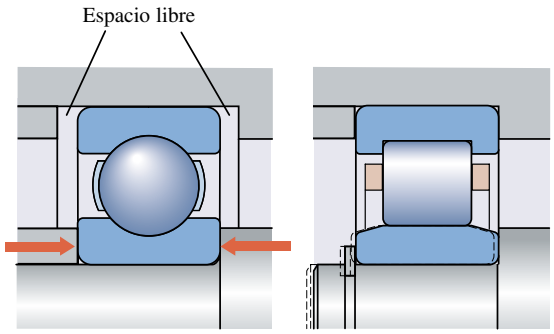


Fig. 3:4 Rodamiento rígido de bolas libre y rodamiento de rodillos cilíndricos, respectivamente

Los dos aros de los rodamientos fijos se deben sujetar axialmente por ambas caras.

Para los rodamientos rígidos de bolas utilizados como rodamientos libres, sólo está fijado axialmente el aro con el ajuste más fuerte (normalmente el aro interior). El otro aro debe quedar libre para moverse axialmente en su asiento.

Sin embargo, el rodamiento de rodillos cilíndricos y el CARB resultan muy adecuados para la posición libre, ya que absorben la dilatación térmica y la contracción del eje dentro del rodamiento con un rozamiento inapreciable.

Para disposiciones cruzadas, los aros exteriores de los rodamientos deben estar fijados axialmente sólo en un lado.

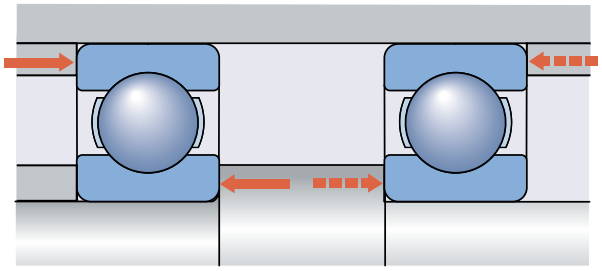


Fig. 3:5 Disposición cruzada

Funcionamiento silencioso

Es posible reducir el ruido de funcionamiento en los motores eléctricos pequeños equipados con un rodamiento rígido de bolas en cada extremo del rotor, aplicando una precarga axial a los rodamientos. Un método sencillo de aplicar precarga consiste en usar ”muelles”. Este diseño se describe en la sección ”Disposiciones de rodamientos en motores eléctricos”.

Seleccione el lubricante adecuado
Siga las recomendaciones del fabricante del motor con respecto a la elección del lubricante. A menudo, la información sobre el intervalo de relubricación y la especificación de la grasa se encuentra en el propio motor o en el manual de servicio. Un lubricante incorrecto puede reducir considerablemente la duración del rodamiento. Se ofrece información adicional en la sección "Lubricación de los rodamientos".

Por qué los motores no se deben probar sin carga
Para garantizar un funcionamiento satisfactorio de los rodamientos de bolas y de rodillos, éstos deben estar siempre sometidos a una determinada carga mínima. Unas cargas inferiores a este mínimo pueden ocasionar adherencia (daño a las superficies de contacto del rodamiento producido por la transferencia de material de una superficie a otra), dando lugar a ruido o a la avería del rodamiento. Vea la sección "Montaje de los rodamientos" para más información.

Cómo cargar un motor antes de la prueba
Para motores con rodamientos rígidos de bolas precargados por muelle:

– No es necesaria ninguna carga externa

Para motores con rodamientos de rodillos cilíndricos o rodamientos CARB:

– Se debe aplicar una carga radial externa en el eje

Evite que los rodamientos se dañen en reposo
Cuando un rodamiento en reposo está expuesto a vibraciones, pueden producirse pequeños movimientos relativos entre los elementos rodantes y los caminos de rodadura. Dependiendo de la intensidad de las vibraciones, de la condición del lubricante y de la carga, ocurre una combinación de corrosión y desgaste, formándose unos rebajes de poca profundidad en el camino de rodadura.

El aspecto de las marcas es de algún modo similar a las indentaciones en la prueba Brinell de dureza del acero y se denomina vibrocorrosión. Sin embargo, las marcas de vibrocorrosión tienen un aspecto brillante.

Algunos ejemplos son los motores en modo de reserva montados en la misma bancada o estructura que otros motores y equipos funcionando, o motores durante el transporte. Girando el eje mientras permanece en reposo se puede evitar este tipo de daño. Vea también las instrucciones en la sección "Montaje de los rodamientos – Procedimientos posteriores al montaje".

Estabilización en caliente
Los rodamientos SKF pueden funcionar generalmente a unas temperaturas de hasta 120 °C. Sin embargo, cuando deban funcionar continuamente a temperaturas de 100 °C o superiores, el cliente deberá consultar con SKF.

Los rodamientos para altas temperaturas de funcionamiento deben ser estabilizados mediante un tratamiento térmico especial, con el fin de evitar cambios estructurales no deseados en el material, que ocasionarían cambios dimensionales en los componentes del rodamiento. Los rodamientos estabilizados, adecuados para funcionar a temperaturas de hasta 150 °C, están indicados por el sufijo de designación S0. Si los rodamientos no están estabilizados, se pueden producir averías tanto de los rodamientos como del motor debido a aflojamiento del ajuste en el eje o a la eliminación del juego interno en el rodamiento.

Los rodamientos de rodillos a rótula en ejecuciones estándar se estabilizan a S1, permitiendo unas temperaturas de funcionamiento de hasta 200 °C.

Conocimientos útiles
El diámetro de agujero de un rodamiento se puede averiguar por su designación básica. Basta con multiplicar los dos últimos dígitos de la designación por 5 para hallar el diámetro de agujero en mm.

Ejemplos:
NU 209 d = $9 \times 5 = 45$ mm
6210 d = $10 \times 5 = 50$ mm

Esto es válido para rodamientos métricos con un diámetro de agujero de 20 mm y superior.

Trate el rodamiento con cuidado
Maneje el rodamiento cuidadosamente y use las herramientas apropiadas para su montaje y desmontaje, para garantizar una sustitución satisfactoria del mismo.

En este manual encontrará instrucciones y consejos sobre los métodos correctos y las herramientas adecuadas para el desmontaje y montaje de rodamientos en motores eléctricos.

4. Disposiciones de rodamientos en motores eléctricos

Los rodamientos deben soportar el rotor radialmente y fijarlo axialmente en relación con el estator. La disposición más utilizada comprende un rodamiento fijo y otro libre.

En la mayoría de los casos, el rodamiento fijo es un rodamiento rígido de bolas, mientras que el libre es, o bien un rodamiento rígido de bolas o de rodillos cilíndricos.

Los motores pequeños equipados con dos rodamientos rígidos de bolas montados en un eje corto, tienen con frecuencia una disposición cruzada.

Los motores eléctricos destinados a transmisiones por correa tienen, en la mayoría de los casos, un rodamiento de rodillos cilíndricos en la posición libre para soportar la carga radial de la tensión de la correa. El rodamiento de rodillos cilíndricos absorbe los movimientos térmicos dentro del rodamiento con un rozamiento inapreciable.

Cuando se utilice un rodamiento rígido de bolas en la posición libre, el aro exterior debe tener juego axial dentro del asiento. Durante el movimiento axial del eje, el aro exterior se desliza axialmente en el asiento. En este caso, el aro exterior del rodamiento rígido de bolas debe tener un ajuste deslizante, mientras que el aro exterior del rodamiento de rodillos cilíndricos tiene que tener un ajuste fuerte.

El último rodamiento inventado por SKF, el rodamiento de rodillos toroidal CARB, es una buena solución para la posición libre. De forma similar al rodamiento de rodillos cilíndricos, absorbe los movimientos axiales del eje dentro del rodamiento y soporta además una desalineación de ~ 0,5° sin ningún efecto negativo en su duración.

Los motores pequeños están equipados en muchas ocasiones con rodamientos rígidos de bolas obturados y engrasados de por vida. Estos motores no tienen medios de relubricación.

Los motores eléctricos de tamaño medio y grande están equipados con rodamientos abiertos, que deben relubricarse. Cuando los rodamientos deban ser relubricados de forma frecuente, los motores tendrán que estar equipados con válvulas de escape de grasa.

Fijación axial de los rodamientos

Un ajuste de apriete, por sí solo, no es suficiente para realizar la fijación axial del aro de un rodamiento. Por consiguiente, como regla general se necesita un medio adecuado para una fijación axial segura del aro.

Ejemplos de disposiciones de rodamientos

A continuación se muestran algunos ejemplos de disposiciones habituales de rodamientos. Sin embargo, hay ciertos detalles, como los retenes, sistemas de lubricación, etc., que varían entre los distintos fabricantes.

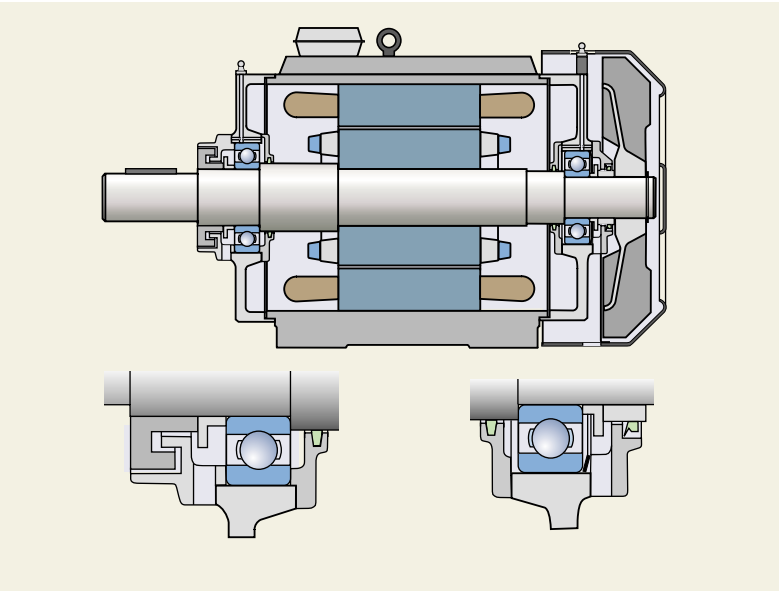


Fig. 4:1 Motor eléctrico trifásico de tamaño medio equipado con medios de relubricación y válvulas de escape de grasa

Disposiciones para accionamientos por acoplamiento

Los motores con dos rodamientos rígidos de bolas están concebidos principalmente para accionamientos por acoplamiento, aunque para tamaños pequeños, hasta aproximadamente 132, también se utilizan con frecuencia para transmisiones por correa.

Motores pequeños

Para los motores pequeños se emplea principalmente una disposición cruzada. Cada uno de los dos rodamientos rígidos de bolas fija el eje axialmente en un solo sentido, siendo opuestas las direcciones.

Los rodamientos rígidos de bolas están precargados por muelle. El objetivo es conseguir un funcionamiento silencioso. Debido a la carga axial, las bolas permanecen cargadas todo el tiempo y en contacto constante con los caminos de rodadura, lo cual proporciona una reducción del ruido. El rotor está mejor guiado y centrado, lo que permite reducir la vibración y, por tanto, un funcionamiento silencioso del motor.

Los soportes tienen laberintos simples y los rodamientos están equipados con placas de protección y engrasados de por vida. Esta disposición de obturación es adecuada para ambientes secos y libres de polvo.

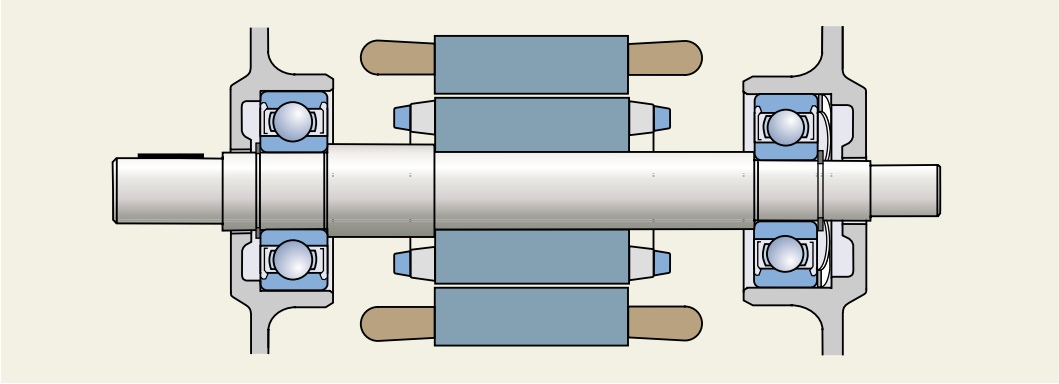


Fig. 4:2 Rodamientos rígidos de bolas protegidos, precargados por muelle, en una disposición cruzada

Motores de tamaño mediano y grande

En la disposición de rodamientos rígidos de bolas, el rodamiento en el extremo de accionamiento es fijo, y el rodamiento libre en el otro extremo está precargado con una arandela. Durante la dilatación térmica del eje, el aro exterior del rodamiento libre se mueve y comprime adicionalmente el muelle.

Los motores de tamaño mediano y grande están equipados, en la mayoría de los casos, con rodamientos abiertos y dotados de medios de relubricación, y cuando precisan una lubricación frecuente, incorporan válvulas de escape de grasa, como se muestra en el gráfico de abajo.

El exceso de grasa es recogido por el disco, se descarga en una cavidad de la tapa lateral y se expulsa a través de una abertura en la cara inferior de la tapa.

En el lado de accionamiento se emplea una obturación laberíntica, y en el extremo no accionado un anillo en V. Las tapas interiores tienen retenes de fieltro para evitar que se fugue la grasa a la zona del rotor.

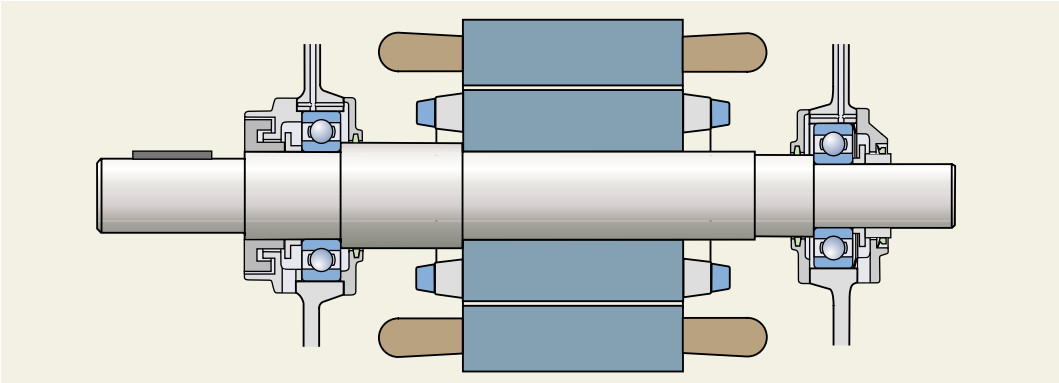


Fig. 4:3 Disposición con dos rodamientos rígidos de bolas abiertos y válvulas de escape de grasa

Disposiciones para transmisiones por correa

Motores pequeños

En la mayoría de los casos, los motores pequeños, hasta aproximadamente el tamaño 132, están solamente disponibles con rodamientos de bolas y se emplean con frecuencia para transmisiones por correa. Vea la figura anterior ”Disposiciones para accionamientos por acoplamiento – Motores pequeños”.

Motores de tamaño mediano y grande

Para soportar la carga radial de la correa, se usa un rodamiento de rodillos cilíndricos como rodamiento libre en el extremo de accionamiento. En la posición fija se emplea un rodamiento rígido de bolas.

Para tamaños de motor con d > 50 mm es necesaria, en muchos casos, relubricación y el soporte debe estar equipado con boquillas y canales de lubricación. Para evitar que se acumule el exceso de grasa en los soportes, se utiliza una válvula de escape de grasa. Las tapas exteriores están equipadas con un retén de laberinto y un retén de anillo en V, respectivamente. Las tapas interiores tienen retenes de fieltro.

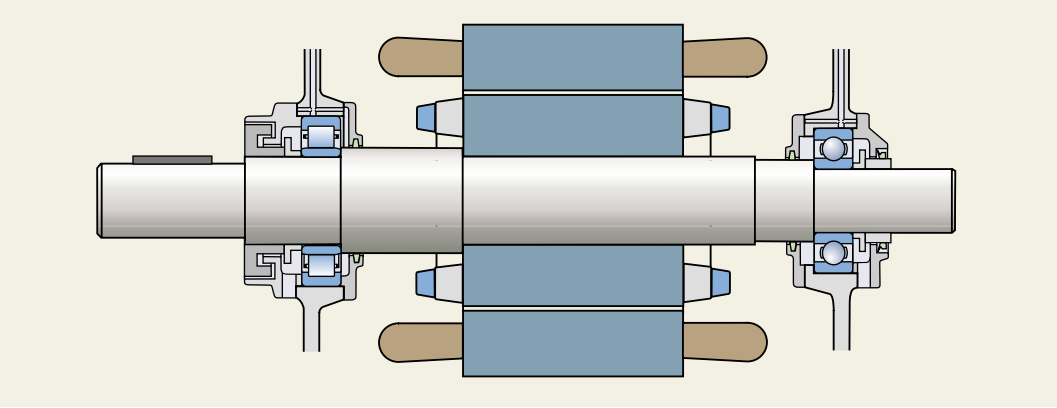


Fig. 4:4 Disposición para relubricación frecuente equipada con válvulas de grasa

Nueva disposición de rodamientos

Una disposición con un CARB ofrece las mismas ventajas que con un rodamiento de rodillos cilíndricos y absorbe los movimientos axiales del eje dentro del rodamiento. Además, puede hacer frente a desalineaciones de hasta 0,5° sin que disminuya la duración del rodamiento. Esta solución prolongará en muchos casos la duración de servicio de la disposición de rodamientos.

Por favor consulte con SKF la disponibilidad y las instrucciones de modificación.

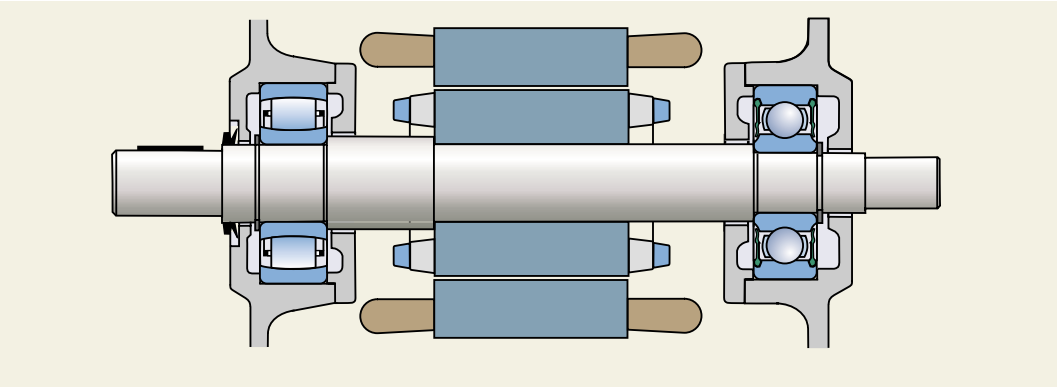


Fig. 4:5 Disposición con un CARB como rodamiento libre

Disposición para una alta carga axial

En los motores de tamaño mediano y grande montados verticalmente, la carga axial de la masa del rotor y del acoplamiento es considerable, por lo que suele emplearse un rodamiento de bolas con contacto angular para absorber la carga axial.

En este caso, el rodamiento de bolas con contacto angular se monta en el extremo de accionamiento. Como rodamiento libre se usa un rodamiento rígido de bolas precargado por muelle.

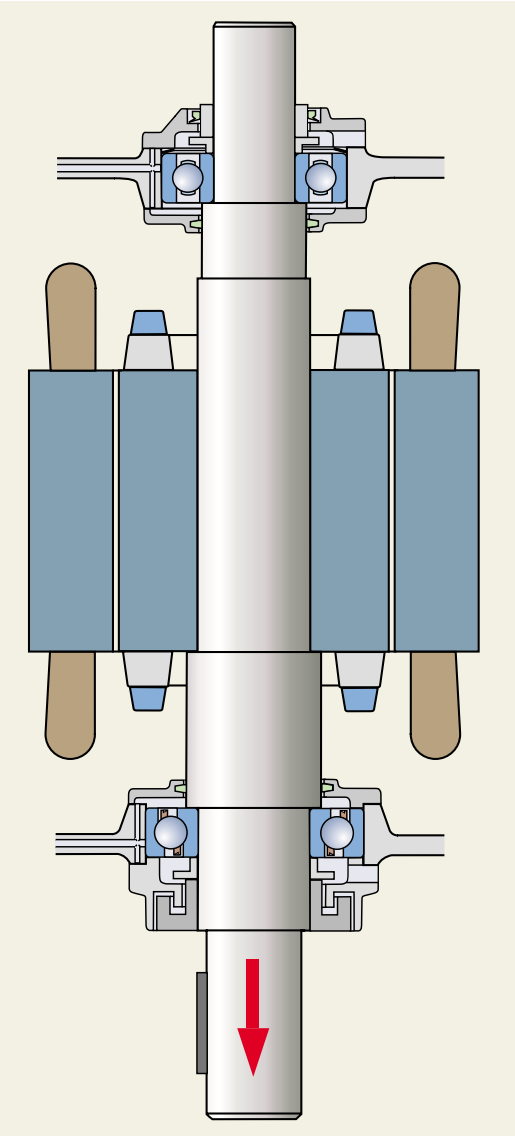


Fig. 4:6 Disposición para montaje vertical con un rodamiento de una hilera de bolas con contacto angular en el extremo de accionamiento

Soportes de aluminio

La dilatación térmica de los soportes de aluminio es más del doble que en los de acero y de fundición. Para impedir que el aro exterior del rodamiento gire en los soportes de aluminio con un ajuste deslizante o con un sentido indeterminado de carga, se puede usar una junta tórica en el asiento del rodamiento. La junta tórica se presiona contra el aro exterior del rodamiento.

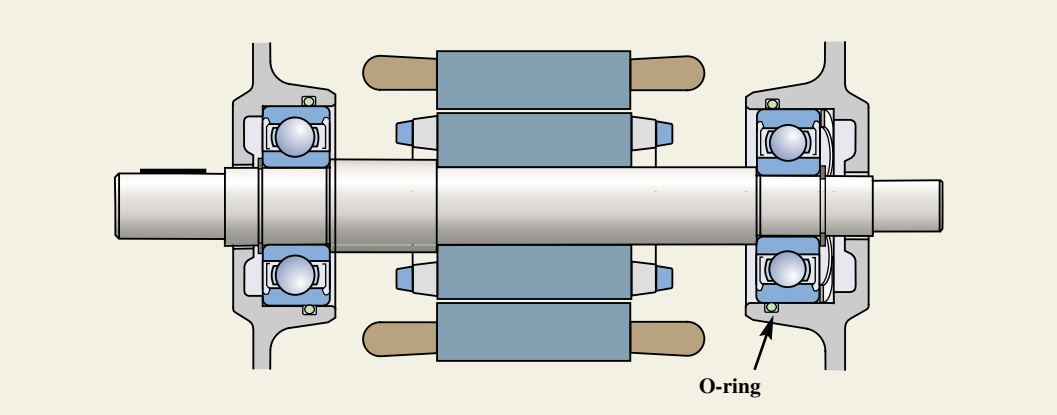


Fig. 4:7 Disposición con juntas tóricas que frenan la rotación de los aros exteriores en el ajuste deslizante de los soportes de aluminio

Normas de diseño

La presión de la junta tórica contra el aro exterior del rodamiento debe ser suficientemente fuerte para impedir que gire el aro.

Sin embargo, la ranura para la junta tórica debe ser suficientemente profunda para impedir que el segmento que sobresale de la misma sea cortado por el radio de la esquina del rodamiento.

A continuación se ofrecen algunas orientaciones sobre las dimensiones de la ranura. En otros casos, la ranura se diseña de acuerdo con los valores estándar para aplicación estática de juntas tóricas.

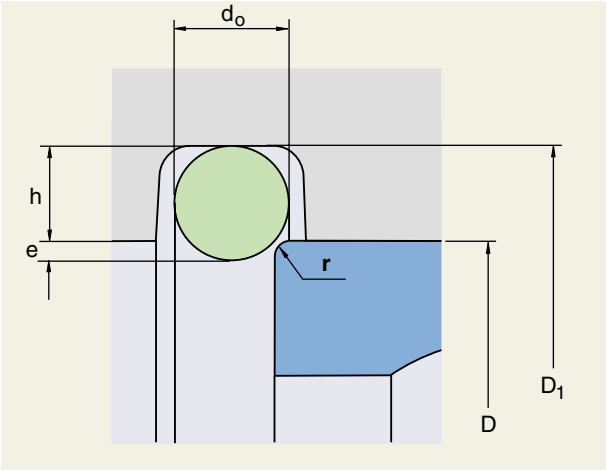


Fig. 4:8 Diseño de la ranura para la junta tórica

Son válidas las siguientes relaciones:

$e = 0{,}2\ d_0 < r$

$h = 0{,}8\ d_0$

$D_1 = D + 2\ h$, tolerancia H10

El valor de dureza shore de la junta tórica debe ser aproximadamente 70 IRH.

5. Desmontaje de los rodamientos

Lo primero que se debe hacer antes de comenzar el desmontaje es preparar un lugar de trabajo limpio. Durante el desmontaje se puede ocasionar daño interno al rodamiento. Por consiguiente, debe evitarse siempre que sea posible desmontar un rodamiento que no esté dañado. Si fuera necesario, el rodamiento se deberá envolver para evitar que se contamine.

Es deseable examinar un rodamiento averiado para averiguar el motivo del fallo y poder adoptar medidas para evitar que se repita. Así pues, el desmontaje debe realizarse con cuidado.

Si los rodamientos no están dañados y van a utilizarse de nuevo, la limpieza es importante. Es más fácil impedir que se ensucien los rodamientos que limpiarlos después. Muchos tipos de rodamiento no se pueden separar, por lo que son extremadamente difíciles de limpiar.

Los rodamientos que no presenten daños se deberán volver a montar en la misma posición y orientación del eje. Asegúrese de que el eje o el soporte están adecuadamente apoyados durante el desmontaje. Las fuerzas de desmontaje pueden dañar fácilmente los caminos de rodadura y los elementos rodantes, acortando la duración del rodamiento.

Preparativos

Dedicando algún tiempo a los preparativos, se puede facilitar el desmontaje. Revise el plano del motor y estudie la disposición de rodamientos.

Desmontaje

Los métodos adecuados

Aplique la fuerza de desmontaje en el aro a desmontar.

Para rodamientos en motores eléctricos, hay cuatro métodos de desmontaje:

- Usar un extractor mecánico
- Utilizar un extractor hidráulico
- Usar una prensa
- Emplear un calentador

La elección del método puede depender del tamaño del rodamiento. Si el rodamiento es comparativamente pequeño, es aceptable usar herramientas mecánicas. Para los rodamientos de mayor tamaño podría ser necesario utilizar un extractor hidráulico.

El desmontaje con calor es un método adecuado para retirar los aros interiores de los rodamientos de rodillos cilíndricos.

Las herramientas adecuadas

Es crucial elegir la herramienta adecuada para el trabajo. Para realizar con éxito el desmontaje se debe usar la herramienta más apropiada para cada caso.

Extractores mecánicos. Los rodamientos de tamaño pequeño y mediano montados con ajuste de interferencia en el eje se pueden desmontar usando un extractor convencional. Si es posible, encaje el extractor en el aro interior; después, desmonte el rodamiento con una fuerza constante hasta que su agujero salga completamente del asiento cilíndrico.

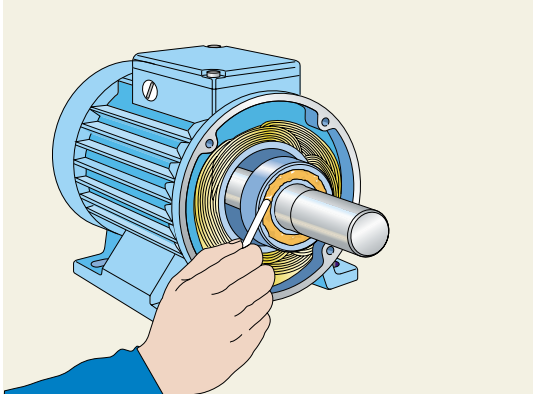


Fig. 5:1 Utilización de un extractor en el aro interior

El extractor debe estar centrado de forma precisa durante el desmontaje ya que, de lo contrario, es fácil que se dañe el asiento. Para eliminar este riesgo, se pueden usar extractores autocentrables.

Fig. 5:2 Un extractor autocentrable

Si no es posible encajar el extractor en el aro interior, aplíquelo en el aro exterior. En muchos de estos casos, el rodamiento resultará dañado. Si el rodamiento se va a analizar después, o si hay otros motivos para reducir el riesgo de que se dañe, se debe girar el aro exterior durante el desmontaje. Esto se puede hacer bloqueando el tornillo y girando el extractor continuamente hasta que se libere el rodamiento.

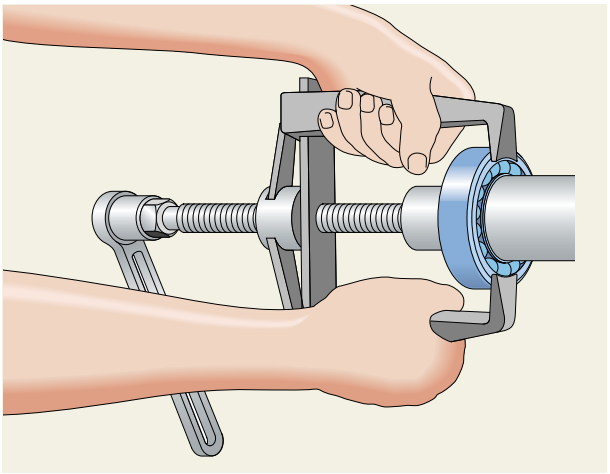


Fig. 5:3 El daño se reduce al mínimo girando el aro exterior

Extractores hidráulicos. Los rodamientos de tamaño mediano con ajuste de interferencia en el eje precisan frecuentemente una fuerza de desmontaje considerable. En estos casos, resulta más adecuada una herramienta hidráulica que una mecánica. Se puede usar un extractor hidráulico autocentrable para fuerzas de hasta 500 kN (112 500 lbf).

¡Importante! No permanezca nunca detrás de un extractor hidráulico, sino al lado del mismo. Cuando el rodamiento se afloja repentinamente, el extractor puede moverse rápidamente hacia atrás.

Fig. 5:4 Un extractor hidráulico

Prensas. La mejor forma de desmontar un rodamiento montado en un asiento de eje cilíndrico es usar una prensa. Asegúrese de que sólo se apoya en el aro interior del rodamiento que tiene ajuste de interferencia.

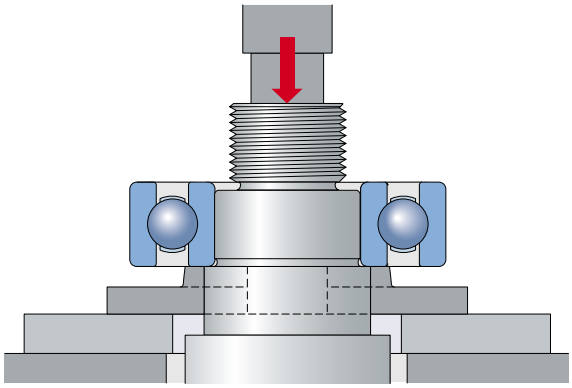


Fig. 5:5 Desmontaje del rodamiento usando una prensa

Calentadores. El desmontaje con calor es un método adecuado para retirar los aros interiores de los rodamientos de rodillos cilíndricos. SKF ha desarrollado y suministra herramientas especiales para este fin, incluyendo aros de aluminio que están disponibles para todas las series NU, NJ y NUP de rodamientos.

El método es simple. Desmonte el aro exterior y aplique una capa de aceite resistente a la oxidación en el camino de rodadura del aro interior. Coloque el aro, calentado a aproximadamente 280 °C (535 °F), alrededor del aro interior y junte los mangos presionando. Retire el aro cuando sienta que está flojo.

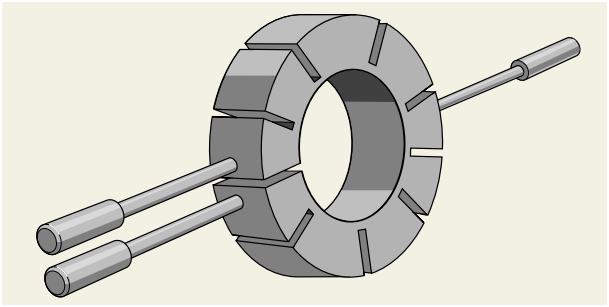


Fig. 5:6 Aro de calentamiento de aluminio

Si desmonta frecuentemente aros interiores de diversos diámetros, puede resultar más cómodo un calentador por inducción ajustable SKF.

Fig. 5:7 Calentador por inducción ajustable SKF

Desmontaje de rodamientos de gran tamaño

Normalmente se pueden usar los mismos métodos para el desmontaje de rodamientos grandes que para rodamientos pequeños. Un rodamiento grande es aquél que tiene un diámetro exterior de 420 mm o más.

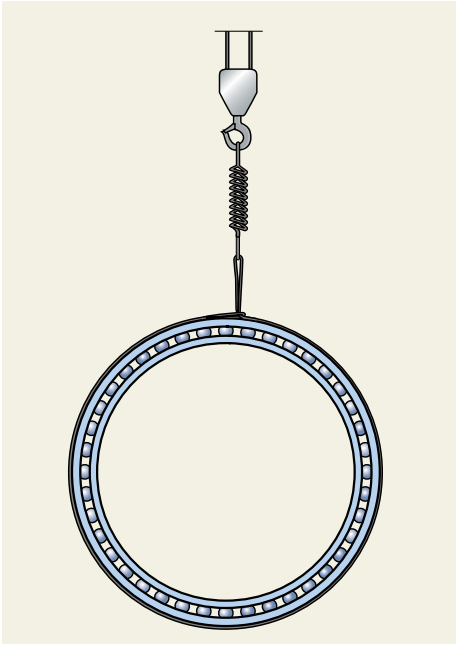


Fig. 5:8 Use una correa o una cinta para rodamientos grandes

Utilice un equipo de elevación para facilitar el trabajo y ponga una correa o una cinta alrededor del rodamiento.

Procedimientos posteriores al desmontaje

Para finalizar el trabajo de desmontaje, limpie con cuidado todos los componentes, especialmente los asientos del rodamiento y compruebe que no están dañados. En caso de asientos dañados, encargue su reparación (vea la página 35).

Si se ha producido la avería de un rodamiento, límpielo y desármelo. Examine el rodamiento para determinar la causa de la avería. Vea la sección ”Análisis de las averías de los rodamientos”.

Si es posible determinar la causa de la avería, se deberán adoptar acciones correctoras para evitar que se repita.

6. Análisis de las averías de los rodamientos

Los rodamientos son componentes muy importantes de los motores eléctricos, y se exige de ellos una gran capacidad de carga y fiabilidad.

En la actualidad, SKF dispone de los medios para calcular la duración de un rodamiento con notable exactitud, en términos que hace posible equipararla con la duración en servicio de la máquina en cuestión.

Desgraciadamente sucede algunas veces que un rodamiento no alcanza su vida nominal calculada. Puede haber varias razones para esto, por ejemplo, cargas más pesadas que las previstas, lubricación inadecuada o insuficiente, manipulación inadecuada, obturaciones ineficaces, o ajustes demasiado fuertes que provocan un juego interno insuficiente del rodamiento, etc.

Cada uno de estos factores origina su propio tipo de avería e imprime su particular huella en el rodamiento. Así pues, examinando un rodamiento averiado, en la mayoría de los casos es posible formar una opinión sobre la causa del fallo y adoptar las medidas precisas para evitar que se repita.

Desarrollo de daños por fatiga

Generalmente, un rodamiento no dura eternamente. Si las condiciones de funcionamiento no son ideales o si se sobrepasa la carga límite de fatiga, antes o después se producirá fatiga del material. El período hasta que aparece el primer signo de fatiga es función del número de revoluciones a que es sometido el rodamiento, de la magnitud de la carga y de la condición del lubricante.

Ya hemos visto anteriormente que la fatiga es el resultado de las tensiones que aparecen de forma cíclica e inmediata bajo la superficie que soporta la carga.

Sin embargo, recientemente se han detectado cada vez mayor números de fallos que se inician desde la superficie en lugar de las fisuras que se forman debajo de la superficie. Las averías se producen debido al deterioro de la superficie. Puede ser por indentaciones ocasionadas por contaminantes rodantes o debido a problemas de lubricación.

Después de cierto tiempo, aparecen fisuras en la superficie. Conforme los elementos rodantes alcanzan los fragmentos agrietados del material, rompen,

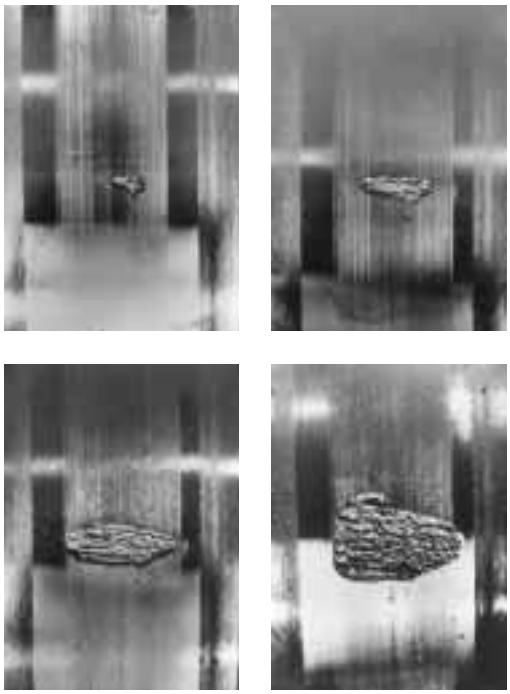


Fig. 6:1 Desarrollo de daño en un camino de rodadura

y esto es conocido como ”flaking” o ”spalling” (desconchado o descascarillado).

El desconchado se incrementa progresivamente en extensión y finalmente deja el rodamiento inservible.

La duración de un rodamiento se define como el número de revoluciones que puede efectuar antes de que se produzca un desconchado incipiente. Esto no significa que el rodamiento no pueda ser utilizado después. El descascarillado puede ser un proceso continuo y relativamente prolongado y anuncia su presencia por el incremento de los niveles de ruido y vibración en el rodamiento. En consecuencia, y por regla general, hay tiempo para preparar un cambio del rodamiento.

Causas de avería de los rodamientos

Paso de corriente eléctrica

El paso de corriente eléctrica a través de los aros y elementos rodantes daña las superficies de contacto y el lubricante. Este daño se produce por un proceso muy similar a la soldadura con arco eléctrico, donde tienen lugar unas temperaturas localizadas muy altas.

El resultado es una reducción de la duración del rodamiento y ruido del mismo.

El daño producido por el paso de corriente eléctrica puede aparecer en forma de ondulación (surcos) de los caminos de rodadura, y se denomina ”efecto de tabla de lavar”.

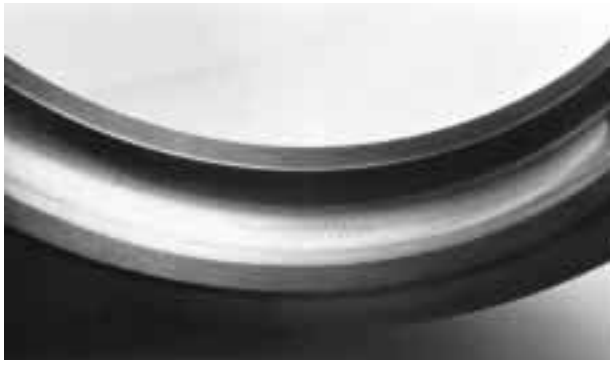


Fig. 6:2 Daños debido al paso de corriente eléctrica en el aro exterior de un rodamiento rígido de bolas

También puede aparecer como una descoloración gris oscura mate del camino de rodadura y de los elementos rodantes. Lo forman múltiples microcráteres que tienen la apariencia de una superficie gris mate. Este daño está frecuentemente relacionado con el uso de convertidores de frecuencia.

Fig. 6:3 Bola con múltiples microcráteres debido al paso de corriente

La grasa también oscurecerá rápidamente y se deteriorará, dando lugar a una reducción drástica de su duración. A su vez, esto hará que disminuya la duración del rodamiento.

Fig. 6:4 Aspecto de la grasa afectada por el paso de corriente – dura y descolorida

Medidas
Compruebe el manual de instalación del motor y use un rodamiento aislado (INSOCOAT o híbrido) en el extremo no accionado.

Lubricación inadecuada
La duración del rodamiento se acortará debido a una lubricación inadecuada. Ocasionará deterioro de la superficie y desgaste. Si la película de lubricante entre los caminos de rodadura y los elementos rodantes llega a ser demasiado fina, las superficies dejarán de estar separadas. A su vez, esto produce contacto de metal con metal, junto con microdeslizamiento en las superficies de contacto. Se pueden iniciar microfisuras en las asperezas, seguido de unas microcascarillas que acabarán produciendo microdesconchado.

Un síntoma de lubricación inadecuada es una superficie especular de los caminos de rodadura y de los elementos rodantes. A menudo, también se desgastan los alvéolos de la jaula.

Fig. 6:5 Rodillo cilíndrico con superficie especular debida a falta de lubricante

Medidas
Compruebe que se usa el lubricante recomendado para el motor y que se han seguido las rutinas de lubricación.

Daño relacionado con el proceso de rebobinado

Los rodamientos pueden resultar dañados por un manejo negligente durante el montaje, durante la prueba de funcionamiento del motor o durante el transporte de vuelta al cliente.

Errores de montaje
Los métodos de montaje incorrectos reducen la duración de servicio del rodamiento y ocasionan ruido y vibración del mismo.

Fig. 6:6 Desconchado en el espacio entre los elementos rodantes, en el aro interior de un rodamiento rígido de bolas

Los daños ocasionados por un montaje incorrecto pueden aparecer como mellas en el camino de rodadura, en el espacio entre los elementos rodantes. Estas mellas se convertirán probablemente después en desconchado.

Uno de estos casos se produce cuando un aro se ha montado con ajuste de interferencia en el eje y los golpes se han dirigido contra el aro exterior, haciendo que la fuerza de montaje pase a través de las bolas y produciendo las mellas.

Fig. 6:7 Trazos de adherencia transversales en el aro interior

El montaje de los rodamientos de rodillos cilíndricos se debe realizar con sumo cuidado para que no se dañe el rodamiento. Si el conjunto de rodillos ha entrado inclinado en el otro aro, sin girar, aparecerán trazos de adherencia transversales en el aro y en los rodillos.

Medidas

Utilice las herramientas y métodos de montaje apropiados, cerciórese de que losas herramientas se encuentran en buen estado y asegúrese de que el montador está debidamente cualificado.

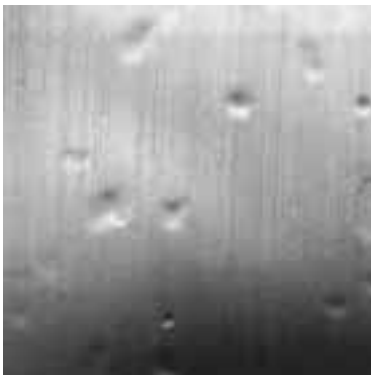


Fig. 6:8 Mellas en el camino de rodadura ocasionadas por contaminantes en los elementos rodantes

Daño debido a contaminación

Pueden entrar partículas extrañas (contaminantes) en el rodamiento con el lubricante contaminado o durante la operación de montaje.

Estas partículas producen (pequeñas) mellas al ser introducidas en los caminos de rodadura a través de los elementos rodantes. Esto podría ocasionar fatiga y provocar un desconchado prematuro.

Este daño se debe a falta de limpieza antes y durante la operación de montaje. Las superficies dañadas de retenes o ejes también podrían dar lugar al mismo resultado.

Medidas

No desembalar el rodamiento hasta justo antes de su montaje. Mantener limpio el taller y usar herramientas limpias.

Daños ocasionados en la prueba de funcionamiento del motor

Cuando un motor se prueba sin carga existe un gran riesgo de que se dañen los rodamientos, ya que éstos necesitan tener siempre una carga mínima para funcionar bien. “Nunca hemos recibido quejas por probar los motores sin carga”, comentó un rebobinador. El motivo es que el daño inicial tarda tiempo en adquirir una magnitud suficiente para que el rodamiento haga ruido y pueda ser detectado. El daño se produce en forma de adherencia (smearing) en los caminos de rodadura y los elementos rodantes.

Medidas
Use un equipo de prueba con carga externa del motor cuando los rodamientos no estén precargados. Vea la sección ”Montaje de los rodamientos – Procedimientos posteriores al montaje”.

Daños causados durante el transporte
Los motores que se transportan con el eje y el rotor libres para moverse dentro del juego del rodamiento, corren el riesgo de que éste se dañe como consecuencia de la vibración.

Cuando un rodamiento no gira, no se forma película de lubricante entre los elementos rodantes y los caminos de rodadura. La ausencia de película de lubricante permite el contacto metálico, y las vibraciones durante el transporte producen unos movimientos relativos muy pequeños entre los elementos rodantes y los aros. Como resultado de este movimiento, se rompen partículas muy pequeñas de la superficie y esto provoca la formación de depresiones en los caminos de rodadura. Este daño se conoce como vibrocorrosión.

Fig. 6:9 Daño por vibración en el camino de rodadura producido cuando el rodamiento no estaba funcionando

En este caso también pasa bastante tiempo antes de que el daño inicial adquiera una magnitud que permita su detección. Por lo tanto, puede resultar difícil achacarlo a un daño de transporte sin un cuidadoso análisis de los componentes dañados del rodamiento.

Medidas
Este tipo de daño se puede evitar con unas medida sencillas. Asegurar el rodamiento durante el transporte mediante precarga radial. Esto se puede hacer sujetando el eje con una correa.

7. Lubricación de los rodamientos

Lubricación y duración de los rodamientos

Para que los rodamientos funcionen de forma fiable y alcancen toda su duración de servicio, tienen que estar adecuadamente lubricados. Algunas propiedades importantes de un lubricante incluyen la viscosidad, la capacidad de formación de película y la consistencia (para la grasa).

La función del lubricante es

- formar una película entre los componentes del rodamiento que producen un movimiento relativo entre sí, para evitar el contacto de metal con metal.
- reducir el rozamiento e impedir el desgaste.
- proteger contra la corrosión.
- obturar (en el caso de una grasa) contra impurezas, como suciedad, polvo o humedad.

Los rodamientos se lubrican normalmente con grasa o aceite.

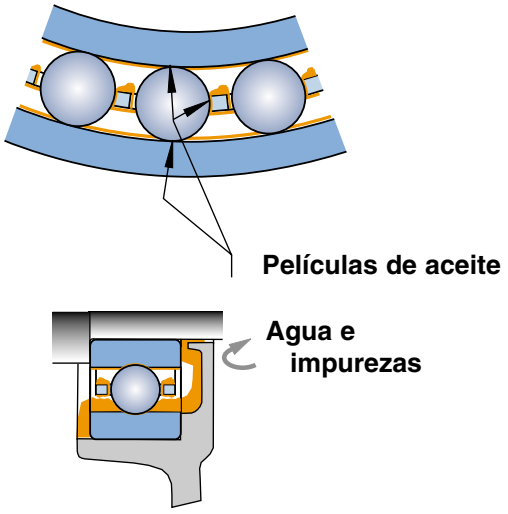


Fig. 7:1 El lubricante en un rodamiento

Lubricación con grasa

Se utiliza normalmente grasa para lubricar aquellos motores eléctricos donde el rodamiento funciona en condiciones normales de velocidad y temperatura. La grasa tiene muchas ventajas sobre el aceite. Por ejemplo, permite una instalación más simple (es decir, más barata), ofrece mejor adhesión y proporciona protección contra la humedad y las impurezas.

Lubricación con aceite

Cuando la velocidad de rotación o la temperatura de funcionamiento no permiten usar grasa, se selecciona la lubricación con aceite. A temperaturas de funcionamiento muy elevadas, el calor se puede disipar empleando la lubricación por circulación de aceite.

Para los límites de velocidad y temperatura, vea el Catálogo General SKF o el Catálogo Interactivo de Ingeniería SKF.

¿Qué es la grasa?

La grasa lubricante es una mezcla de agente espesante y aceite. Se compone de un 85–90 % de aceite mineral o sintético. En la mayoría de las grasas, el espesante es un jabón metálico, que confiere a la grasa su consistencia y la capacidad de permanecer en el lugar donde se deposita. El espesante también actúa de forma similar a una esponja: aplicando una presión ligera a la esponja sólo se expulsa una pequeña cantidad de fluido, pero si se aplica una presión fuerte, esta cantidad aumenta considerablemente.

En funcionamiento, la temperatura del rodamiento aumenta, lo cual hace que el aceite fluya más fácilmente. De este modo, el aceite también se separa del espesante.

La asombrosa película de aceite

La película de aceite que separa los elementos rodantes y el camino de rodadura tiene un espesor menor de 0,001 mm. Esta delgadísima película marca la diferencia entre el éxito y la catástrofe – si no existe, el rodamiento se averiará prematuramente.

Observe los siguientes tamaños relativos:

- Clip para sujetar papeles ~0,8 mm
- Cabello humano: ~0,05 mm
- Juego en un 6310/C3 sin montar: ~0,03 mm
- Partícula de suciedad: ~0,005 mm
- Película de aceite: ~0,0005 mm

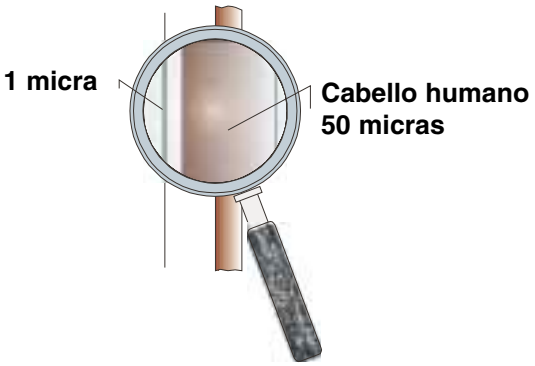


Fig. 7:2 Una micra comparada con un cabello humano

Viscosidad
La viscosidad indica la resistencia con que fluye un líquido. Varía con la temperatura. A mayor temperatura, menor viscosidad del aceite. Un aceite con una alta viscosidad forma más fácilmente la película que otro de baja viscosidad.

La unidad de medición de la viscosidad cinemática es mm^2/s (ISO), antes conocida como cSt (centistoke), o SUS (Saybolt Universal Seconds) en los Estados Unidos. Las mediciones se realizan generalmente a 40 °C y 100 °C, pero también a 37,8 °C (100 °F), 50 °C, y 98,9 °C (210 °F).

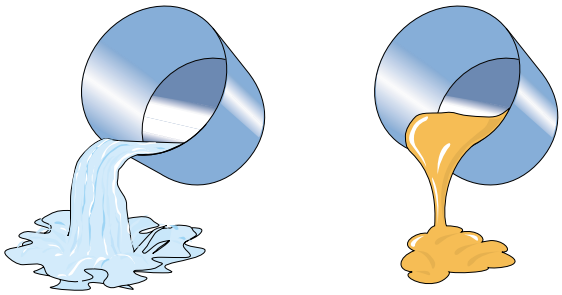


Fig. 7:3 El agua tiene una viscosidad baja, y la melaza, alta

Consistencia
La consistencia es el grado de rigidez de una grasa. Se clasifica de acuerdo con el Instituto Nacional de Grasas Lubricantes (NLGI) de los Estados Unidos. Esta escala está aceptada universalmente. Grasa blanda: consistencia baja, grado NLGI bajo. Grasa rígida: consistencia alta, grado NLGI alto.

Normalmente, para los rodamientos de motores eléctricos se emplean grasas de los grados NLGI 2 y 3.

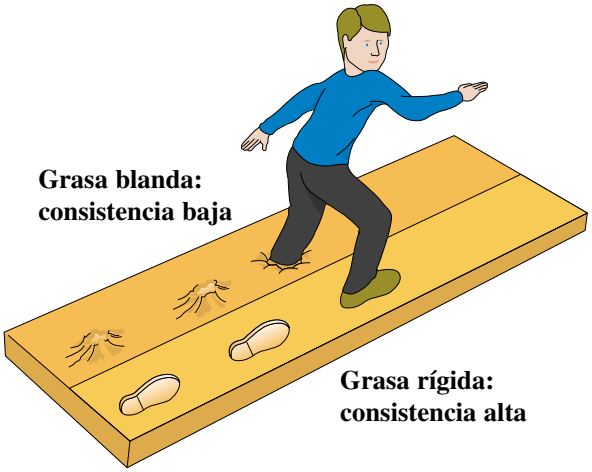


Fig. 7:4 La diferencia entre la grasa blanda y la rígida

Rozamiento entre las capas de lubricante
El lubricante forma una película entre los componentes del rodamiento que tienen un movimiento relativo entre sí. Se adhiere firmemente a las superficies que se deben separar. Cuando los componentes del rodamiento se mueven entre sí, la película está expuesta a tensiones cortantes internas.

A modo de simplificación, podemos decir que el resultado es un deslizamiento entre las diferentes ”capas” de la película y el correspondiente rozamiento entre ellas. La viscosidad es una indicación de la resistencia de un fluido al deslizamiento entre capas.

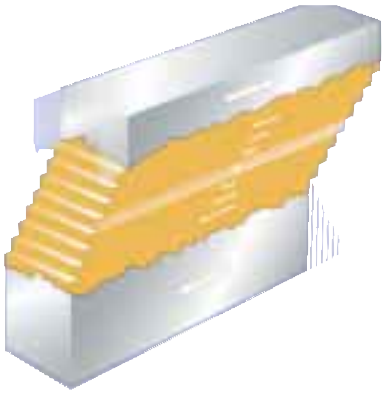


Fig. 7:5 Rozamiento entre capas de lubricante

Capacidad de formación de película

Los determinantes más importantes del espesor de película son

- la velocidad de giro
- la temperatura del rodamiento
- la carga
- la viscosidad del aceite base.

Algunas importantes situaciones de lubricación, teniendo en cuenta el espesor de la película de aceite, son

- lubricación de la capa límite
- lubricación elasto-hidrodinámica

Ejemplos de lubricación

La lubricación de la capa límite se obtiene cuando el espesor de la película de lubricante es demasiado pequeño para separar adecuadamente las superficies de contacto. Ocurre, por ejemplo, en motores con una velocidad muy reducida y también cuando la viscosi-

dad del aceite es baja debido, por ejemplo, a una elevada temperatura de funcionamiento.

La lubricación elasto-hidrodinámica se da cuando la lubricación es muy buena, por ejemplo en motores de alta velocidad.

Las condiciones de la lubricación elasto-hidrodinámica en un rodamiento se pueden comparar a un neumático de automóvil en una carretera mojada. A baja velocidad, no hay riesgo de hydroplaning, ya que el neumático tiene un buen contacto con la carretera. A alta velocidad, el neumático, especialmente si está desgastado, podría no ser capaz de expulsar el agua y comenzará a desplazarse sobre una película de agua. El rozamiento es tan bajo entonces que no es posible conducir el vehículo de forma segura.

Cuando un rodamiento gira a baja velocidad es difícil conseguir una buena lubricación, ya que puede existir algún contacto metálico entre los elementos rodantes y los caminos de rodadura. Pero a una velocidad suficientemente alta, se forma una película de aceite más espesa, de la misma forma que en el ejemplo del neumático de automóvil. La película de aceite separa las superficies completamente y el elemento rodante produce hydroplaning. Al no existir contacto metálico, no se produce desgaste del rodamiento en estas condiciones.

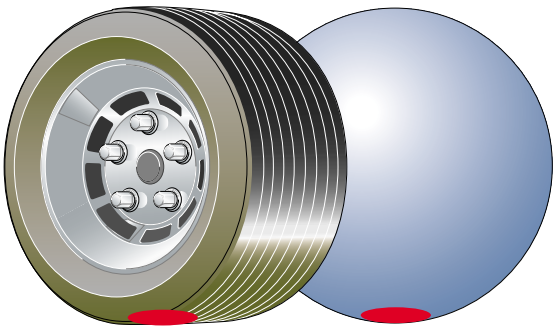


Fig. 7:6 El hydroplaning significa un bajísimo rozamiento

El hydroplaning es malo para los automóviles, pero bueno para los rodamientos.

Aditivos

Para obtener grasa con propiedades especiales, se incluyen uno o más aditivos. Estos son los más comúnmente utilizados:

- Aditivo anticorrosión para mejorar la protección contra la corrosión.
- Antioxidantes para retardar la degeneración de las grasas.
- Aditivos EP (alta presión) para incrementar la capacidad de carga de la película de aceite.

Cómo funcionan las grasas

En los caminos de rodadura permanece una pequeña cantidad de grasa del rodamiento, pero la mayor parte es expulsada de los elementos rodantes y forma un depósito del cual se separa el aceite base y penetra en los caminos de rodadura. La grasa también se adherirá a la jaula y lubricará los contactos deslizantes entre los elementos rodantes y la jaula, suministrando aceite a estos últimos. Vea la figura 7:1 en la página 26.

La temperatura tiene una gran influencia en el rendimiento de la grasa. Para una grasa normal de jabón de litio/aceite mineral, su duración a una temperatura de funcionamiento de 100 °C es sólo ~25 % de la duración a 70 °C. Por consiguiente, la duración de la grasa se prolonga algo a temperaturas menores de 70 °C, pero cuando la temperatura de funcionamiento disminuye, la grasa desprende el aceite con menor facilidad y se deteriora la lubricación. A temperaturas de funcionamiento inferiores, de +30 a 40 °C, dependiendo de la grasa y del tipo de rodamiento, este efecto reducirá considerablemente la duración de la primera. En la tabla de la página siguiente se muestra el efecto que la temperatura tiene en la grasa.

Selección de la grasa

La utilización del lubricante mejor y más adecuado tiene una importancia crucial para obtener el rendimiento y fiabilidad correctos del motor.

Deben tenerse en consideración los siguientes aspectos:

- Tipo de rodamiento
- Temperatura de funcionamiento
- Carga
- Rango de velocidad
- Condiciones de funcionamiento, como la vibración y la orientación del eje en sentido horizontal o vertical
- Condiciones de refrigeración
- Eficiencia de obturación
- Ambiente externo

Evite mezclar tipos de grasa diferentes, ya que podría disminuir el rendimiento.

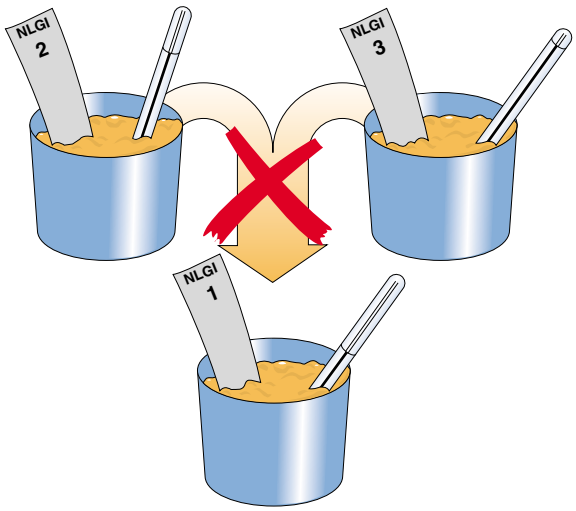


Fig. 7:7 No mezcle nunca grasas de diferente consistencia

Características **Grasa**	**LTL**	**Valores LTPL aproximados**	**HTPL**	**Espesante/ aceite base**	**Viscosidad del aceite base a +40 °C**
SKF LGMT 2	–30 ˚C	–30 ˚C – Rodamientos de bolas +30 ˚C – Rodamientos de rodillos	+120 ˚C	Jabón de litio/ aceite mineral	100 mm²/s
SKF LGMT 3	–30 ˚C	–30 ˚C – Rodamientos de bolas +40 ˚C – Rodamientos de rodillos	+120 ˚C	Jabón de litio/ aceite mineral	120 mm²/s
SKF LGHQ 3	–20 ˚C	–20 ˚C – Rodamientos de bolas +80 ˚C – Rodamientos de rodillos	+150 ˚C	Jabón complejo de litio/aceite mineral	110 mm²/s
SKF LGHP 2	–40 ˚C	–40 ˚C – Rodamientos de bolas +30 ˚C – Rodamientos de rodillos	+150 ˚C	Poliurea/aceite mineral	96 mm²/s
SKF WT[1)]	–40 ˚C	–40 ˚C – Rodamientos de bolas	+160 ˚C	Poliurea/éster sintético	70 mm²/s

[1)] Sólo disponible en rodamientos obturados

Tabla 7:1 Grasas SKF para rodamientos en motores eléctricos

Explicaciones
LTL = Límite de baja temperatura
LTPL = Límite de rendimiento a baja temperatura
HTPL = Límite de rendimiento a alta temperatura

{ La temperatura se mide en el aro exterior del rodamiento

El límite de temperatura LTL lo facilita el fabricante, y es la temperatura mínima a la que puede comenzar a funcionar un rodamiento con grasa.

El límite de temperatura LTPL es el límite más bajo para un funcionamiento seguro y está determinado por la cantidad de aceite que desprende la grasa. La capacidad de desprendimiento de aceite de una grasa depende de la temperatura y se incrementa con el aumento de ésta.

Recuerde que los rodamientos de rodillos necesitan que la grasa desprenda mucho más aceite a bajas temperaturas que los de bolas. Esto está indicado por las temperaturas LTPL mucho más altas para rodamientos de rodillos.

La temperatura HTPL es la temperatura máxima a la cual, funcionando continuamente a este valor, la grasa tiene una duración predecible.

Para la lubricación de rodamientos abiertos en motores eléctricos, se recomiendan las siguientes grasas de alta calidad de la gama estándar SKF:

- Motores eléctricos de tamaño pequeño, con diámetros de eje hasta 50 mm, inclusive: SKF LGMT 2
- Motores eléctricos de tamaño medio, con diámetros de eje mayores de 50 mm: SKF LGMT 3
- Aplicaciones de alta temperatura: SKF LGHQ 3, una grasa para alta temperatura concebida para todos los motores eléctricos donde la temperatura de los rodamientos en servicio sea constantemente mayor de 80 °C. También se puede usar para rodamientos de bolas a temperaturas algo más bajas. Tiene asimismo un buen comportamiento en aplicaciones con ejes verticales.
- Aplicaciones de amplio rango de temperatura: la SKF LGHP 2 es adecuada para unos grandes rangos de temperaturas de funcionamiento de los rodamientos, de –40 a +150 °C. Tiene una duración extremadamente prolongada a altas temperaturas, con una excelente capacidad anticorrosión, adecuada para usar en rodamientos de bolas y de rodillos.

En la tabla de la página 29 se ofrecen algunas características de las grasas mencionadas.

SKF SYSTEM 24

SKF SYSTEM 24 es un lubricador automático que suministra un flujo constante de grasa. Tiene un dial regulable para ajustar la cantidad de lubricante. Está diseñado especialmente para asegurar una alternativa fiable y económica al método tradicional de engrase manual.

Fig. 7:8 El lubricador automático

Engrase de los rodamientos

En la entrega, los rodamientos abiertos están recubiertos únicamente de un compuesto antioxidante y deben engrasarse una vez que se hayan montado. Sin embargo, los rodamientos con dos placas de protección o de obturación salen cargados con una cantidad de grasa específica para su tamaño. No se pueden reengrasar.

Limpieza de la grasa

Las grasas se deben conservar en sus recipientes originales hasta que se utilicen, y éstos no deben permanecer nunca abiertos. Las herramientas de lubricación, recipientes, pistolas, etc. se deben lavar con disolvente limpio y secar cuidadosamente antes de usar.

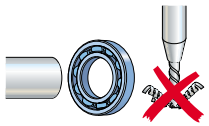
La grasa recoge rápidamente polvo nocivo y partículas del ambiente de trabajo. No se deben usar nunca paletas o espátulas de madera para sacar la grasa de tambores o contenedores, debido al riesgo de contaminación.

Los rodamientos se deberán lubricar normalmente durante el montaje, teniendo en cuenta las normas siguientes:

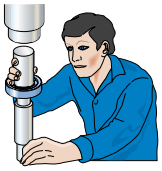
- Realice el trabajo de montaje en una zona limpia y sin polvo.
- Compruebe los ejes y resaltes o distanciadores, y límpielos. Compruebe también los retenes y cámbielos si están desgastados o presentan cualquier tipo de daño.
- No saque el rodamiento de su envase hasta que esté listo para montar.

No intente nunca limpiar rodamientos obturados.

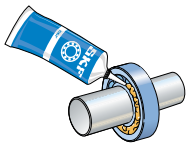
Mantenga el rodamiento en su envase mientras sea posible



Un lugar de trabajo limpio y sin polvo



Montaje



Grasa

Fig. 7:9 Procedimiento para montar y engrasar los rodamientos

Las siguientes condiciones son importantes a la hora de engrasar los rodamientos:

- Tipo y calidad correctos de grasa
- Método correcto
- Cantidad correcta.

El momento adecuado

Generalmente, los rodamientos no se lubrican hasta después del montaje. El principal motivo es la limpieza. Cuanto más tarde se aplique la grasa, más posibilidades hay de evitar la contaminación.

Sólo se deben lubricar los rodamientos antes del montaje cuando el pre-engrase sea la única forma de obtener una distribución uniforme de la grasa.

La cantidad correcta

Siga estas normas generales:

- Los rodamientos se deben llenar completamente de grasa, pero el espacio libre en el soporte sólo se ha de llenar parcialmente (entre 30 y 50 %).
- Un llenado excesivo de grasa provocará una mayor temperatura y, en el peor de los casos, una avería del motor. Con los motores de alta velocidad es extremadamente importante mantener baja la cantidad de grasa.
- Para todas las condiciones de funcionamiento, deje libre una parte del soporte para la grasa que se expulsa del rodamiento durante la puesta en marcha.

Cómo engrasar un rodamiento

Las técnicas de engrase correctas varían en función del diseño del rodamiento y de su soporte. Los rodamientos pueden ser desarmables o no desarmables.

Rodamientos no desarmables

En motores eléctricos se utilizan los siguientes rodamientos no desarmables:

- Rodamientos rígidos de bolas
- Rodamientos de bolas con contacto angular
- Rodamientos de rodillos a rótula
- Rodamientos de rodillos toroidales CARB

Si es posible, estos rodamientos se deben llenar de grasa desde ambos lados.

Generalmente, un rodamiento se debe engrasar después de que se haya montado en el eje. En la mayoría de los casos, el espacio es tan limitado que no es posible engrasar el rodamiento desde el lado posterior cuando está montado en el rotor.

Por consiguiente, el rodamiento sólo se puede engrasar desde el lado delantero con una pistola, por ejemplo las que pueden encontrar en el Catálogo de Productos de Mantenimiento y Lubricación SKF. Se ha de comprobar con sumo cuidado que el rodamiento está completamente lleno y que la grasa penetra a través del mismo y aparece en el lado posterior.

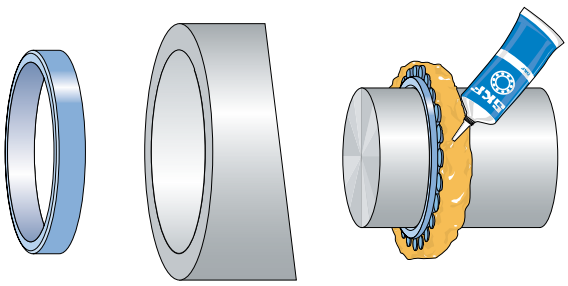
Fig. 7:10 Engrase de un rodamiento rígido de bolas montado en un rotor

Rodamientos desarmables

De los tipos de rodamientos que se utilizan en motores eléctricos, sólo los de rodillos cilíndricos son desarmables. Estos rodamientos se pueden engrasar mables en el orden determinado por la secuencia de montaje.

Monte el aro libre y engráselo ligeramente para que no se dañe al instalar en su posición el aro con la jaula y los elementos rodantes.

Después, engrase el aro con la corona de rodillos. Asegúrese de que se han llenado bien todos los espacios.



Monte el aro libre y engráselo ligeramente

Después, engrase el aro interior y la corona de rodillos. Llene todos los espacios.

Fig. 7:11 Engrase de un rodamiento de rodillos cilíndricos del diseño N

Suministre la grasa desde arriba y añada una reserva en el lado superior del rodamiento

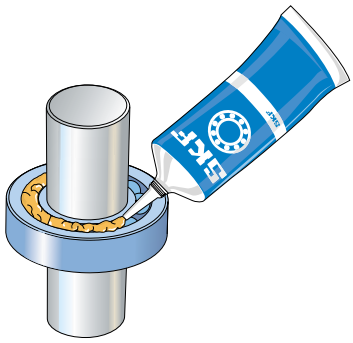


Fig. 7:12 Engrase de un rodamiento en un eje vertical

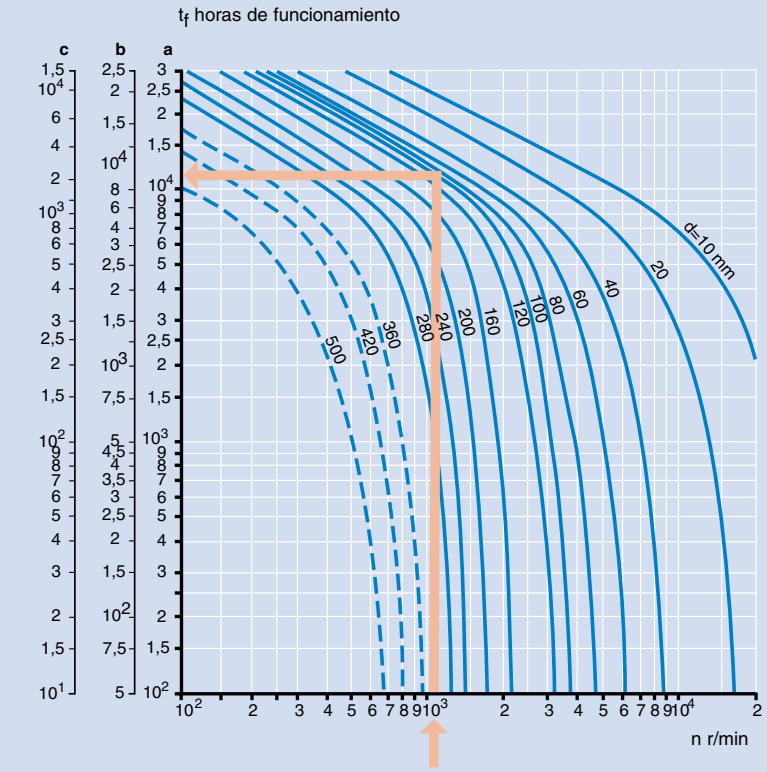
Engrase de rodamientos en ejes verticales

Para un rodamiento montado en un eje vertical, es aconsejable suministrar la grasa desde arriba en una cantidad tal que se forme una reserva en el lado superior del rodamiento.

¿Cuánto tiempo dura la grasa?

La expectativa de duración de la grasa depende de varios factores, como el tipo de grasa, la orientación del eje del motor, el tamaño así como la velocidad y temperatura de funcionamiento del rodamiento. El ambiente y la disposición de obturación también juegan un papel importante.

Para rodamientos de bolas pequeños, la duración de servicio suele ser tan larga que no es necesaria ninguna relubricación. En estas situaciones son adecuados rodamientos "lubricados de por vida" equipados con retenes o placas de protección.



Ejemplo
Un rodamiento rígido de bolas con un diámetro de agujero (d) de 100 mm gira a 1 000 r/min. La temperatura de funcionamiento varía entre 60 y 70 °C (140 a 160 °F). ¿Cuál es el intervalo de relubricación correcto?

Siga la línea desde 1 000 en el eje x del diagrama hasta la intersección de la curva para d = 100 mm. Después, siga una línea desde esta intersección horizontalmente o en paralelo al eje x, hasta el valor de aproximadamente 12 000 en la columna "escala a" (rodamientos radiales de bolas). El intervalo de relubricación es, por tanto, 12 000 horas de funcionamiento.

Escala a: rodamientos radiales de bolas
Escala b: rodamientos de rodillos cilíndricos
Escala c: rodamientos de rodillos a rótula, CARB

Fig. 7:13 Diagrama de intervalo de relubricación

Intervalo de relubricación

Los rodamientos de rodillos necesitan unos intervalos de relubricación más cortos que los de bolas. Para los intervalos de relubricación correctos, siga las instrucciones del manual del motor. Si falta esta información, utilice el diagrama de la figura 7:13.

Para decidir un intervalo de relubricación apropiado, siga el ejemplo que se da en la figura. Los pasos son:

1. Determine el tipo de rodamiento, el agujero y la velocidad
2. Modifique para temperaturas de funcionamiento mayores o menores de 70 °C (160 °F)
   – divida el intervalo por dos por cada 15 °C (32 °F) por encima de 70 °C (160 °F)
   – multiplique el intervalo por dos por cada 15 °C (32 °F) por debajo de 70 °C (160 °F)
3. Modifique los resultados para el eje vertical; como regla básica, el intervalo se debe dividir por dos para un eje vertical
4. Modifique los resultados para un ambiente fuertemente contaminado; use menos grasa con mayor frecuencia – la experiencia es la mejor consejera.

Procedimiento de relubricación con grasa

Utilice siempre el mismo tipo de grasa que se haya usado anteriormente en el rodamiento. Algunas grasas pierden su capacidad lubricante cuando se mezclan con otra grasa. No mezcle nunca grasas a menos que esté seguro de que son compatibles.

Si es necesaria una lubricación más frecuente, el soporte deberá estar equipado con algún tipo de dispositivo de llenado de grasa, preferiblemente un conducto de lubricación con una boquilla.

Los pasos para la relubricación son los siguientes:

1. Determine la cantidad de relubricación

   Si dispone de la correspondiente recomendación del fabricante, sígala. En caso contrario, use la fórmula general para la cantidad de grasa que se indica a continuación.

   $G_p = 0{,}005\ D\ B$, g (D y B en mm)
   ó
   $G_p = 0{,}1\ D\ B$, oz (D y B en pulgadas)

   donde
   G_p = cantidad de grasa a añadir
   D = diámetro exterior del rodamiento
   B = anchura del rodamiento

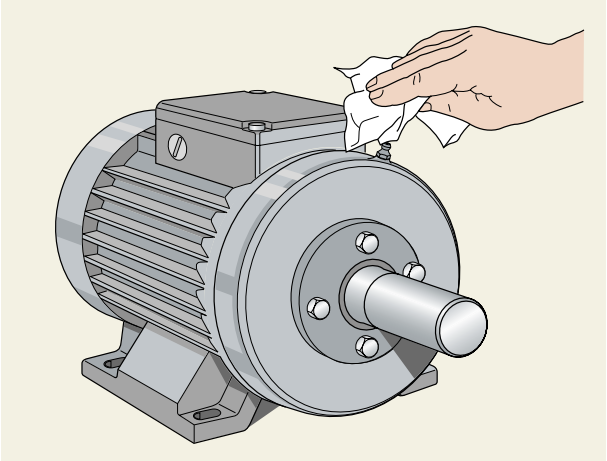


Fig. 7:14 Limpie la boquilla y la zona alrededor de los engrasadores. Use un paño sin hilos sueltos

2. Limpie la boquilla y la zona alrededor de los engrasadores
3. Añada la cantidad de grasa (no demasiado rápido)
4. Espere hasta que se purgue el exceso de grasa

La grasa utilizada para relubricación debe cumplir los mismos requisitos de limpieza que la grasa original.

La grasa utilizada para la lubricación de rodamientos debe ser de alta calidad. Las grasas SKF se controlan con esmero y cumplen las especificaciones necesarias de calidad y limpieza.

Válvula de escape de grasa

Cuando un rodamiento gira a alta velocidad y necesita un relubricación frecuente, el exceso de grasa se puede acumular en el soporte. Para impedirlo, permita que la grasa salga a través de una válvula de escape. La válvula puede consistir en un disco que gire con el eje, formando una pequeña separación con la tapa lateral del soporte.

El disco recoge el exceso de grasa, lo descarga en una cavidad de la tapa lateral, y después lo expulsa a través de una abertura en la cara inferior del soporte del rodamiento. En la figura 7:15. se muestra el principio de la válvula de grasa.

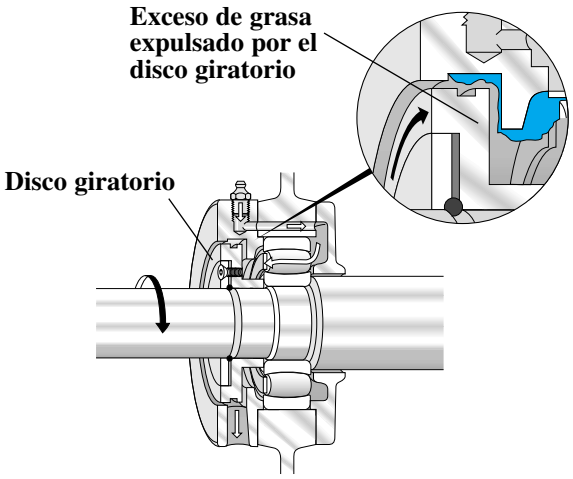


Fig. 7:15 Válvula de escape de grasa

Lubricación con aceite

Normalmente sólo se lubrican con aceite los motores eléctricos grandes. Las ventajas principales de la lubricación con aceite es que permite una mayor velocidad y, circulando el aceite, se puede disipar el calor del rodamiento. El aceite se puede mantener limpio filtrándolo. La lubricación con aceite requiere retenes más complicados y puede haber riesgo de escapes.

La tabla siguiente indica las clases de viscosidad ISO, mostrando el rango de viscosidad para cada clase a 40 °C

Clase de viscosidad ISO	Viscosidad cinemática mm²/s a 40 °C		
	valor medio	mín	máx
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48
ISO VG 10	10	9,00	11,0
ISO VG 15	15	13,5	16,5
ISO VG 22	22	19,8	24,2
ISO VG 32	32	28,8	35,2
ISO VG 46	46	41,4	50,6
ISO VG 68	68	61,2	74,8
ISO VG 100	100	90,0	110
ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1 000	1 000	900	1 100
ISO VG 1 500	1 500	1 350	1 650

Retenes

Un rodamiento debe estar protegido contra la suciedad y la humedad, y ha de estar bien lubricado. Por lo tanto, la duración de servicio de un rodamiento depende en gran medida de la eficacia de los retenes.

Los retenes impiden la entrada de partículas extrañas y humedad, además de retener el lubricante en el espacio alrededor del rodamiento.

El tipo de retén a seleccionar depende básicamente de las condiciones de funcionamiento.

- ambiente
- tipo de lubricante
- velocidad de deslizamiento de la superficie de obturación
- si el retén se va a montar vertical u horizontalmente
- el alcance de desalineación.

Pero también hay razones ambientales, como

- productos químicos
- condiciones térmicas
- factores mecánicos

que pueden influir en el rendimiento del retén.

Se deben examinar con cuidado los retenes y la cara de contacto con el eje. En caso de daño, será necesario cambiar los retenes y posiblemente reparar la superficie del eje.

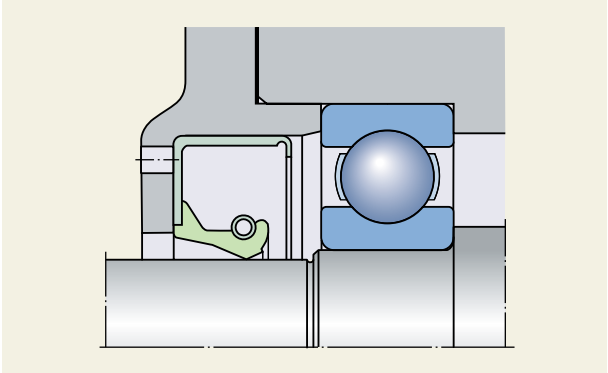


Fig. 7:16 Retén externo

SKF ofrece una amplia gama estándar de retenes radiales de eje, retenes de anillo en V, retenes mecánicos, etc., que se describen con mayor detalle en el catálogo 4006 E ”Retenes CR”, o en el Catálogo Interactivo de Ingeniería SKF.

8. Montaje de los rodamientos

La principal norma al sustituir los rodamientos es que se mantengan limpios antes y durante el montaje. Hay una variedad de factores – técnicas o métodos de montaje inadecuados, manos o herramientas sucias, grasa o aceite contaminados – que pueden causar daños en los rodamientos. Con independencia de la calidad de los rodamientos o de los retenes, estos factores pueden dar lugar rápidamente a una avería de los primeros.

Antes de montar los rodamientos, hay varias medidas que se deben considerar y que se amplían en las siguientes secciones.

Tolerancias y ajustes

Para impedir el movimiento relativo de los aros interior y exterior con respecto al eje y soporte, y no reducir excesivamente el juego radial interno del rodamiento, se deben aplicar los ajustes apropiados de eje y soporte.

Para las aplicaciones de rodamientos se usa una selección limitada de grados de tolerancia ISO.

Las tolerancias constan de una letra que define la posición y un dígito que define el tamaño de la zona de tolerancia. Se emplean letras mayúsculas para las tolerancias de alojamiento (por ejemplo H7) y letras minúsculas para ejes (por ejemplo j6). Cuanto más atrasada sea la posición que ocupa la letra de tolerancia en el alfabeto, más fuerte será el ajuste. Cuanto más bajo sea el número después de la letra, más estrecha será la zona de tolerancia.

La figura 8:1 del final de la página muestra la relación entre los diámetros nominales y las posiciones y grados de tolerancia. Las áreas en color azul claro indican la variación del diámetro de agujero del rodamiento y la variación del diámetro exterior, respectivamente. Las barras rojas muestran el rango de tolerancias para ejes (mitad inferior) y soportes (mitad superior).

Condiciones de carga

Existe una ”carga rotativa” si el aro del rodamiento gira y la carga es fija, o viceversa. El aro sometido a una carga rotativa deberá tener un ajuste de interferencia, cuyo grado vendrá impuesto por las condiciones de funcionamiento.

Existe una ”carga fija” cuando tanto el aro del rodamiento como la carga son estacionarios, o si el aro y la carga giran a la misma velocidad, de modo que esta última esté siempre dirigida hacia el mismo punto en el aro. Este aro deberá tener normalmente un ajuste flojo. Cuando varían las direcciones de carga, especialmente cuando se trata de cargas pesadas, ambos aros deben tener un ajuste de interferencia. Se recomienda el mismo ajuste de aro interior que para una carga rotativa. El aro exterior puede tener un ajuste un poco más holgado. Las condiciones de carga se describen en las figuras de la página siguiente.

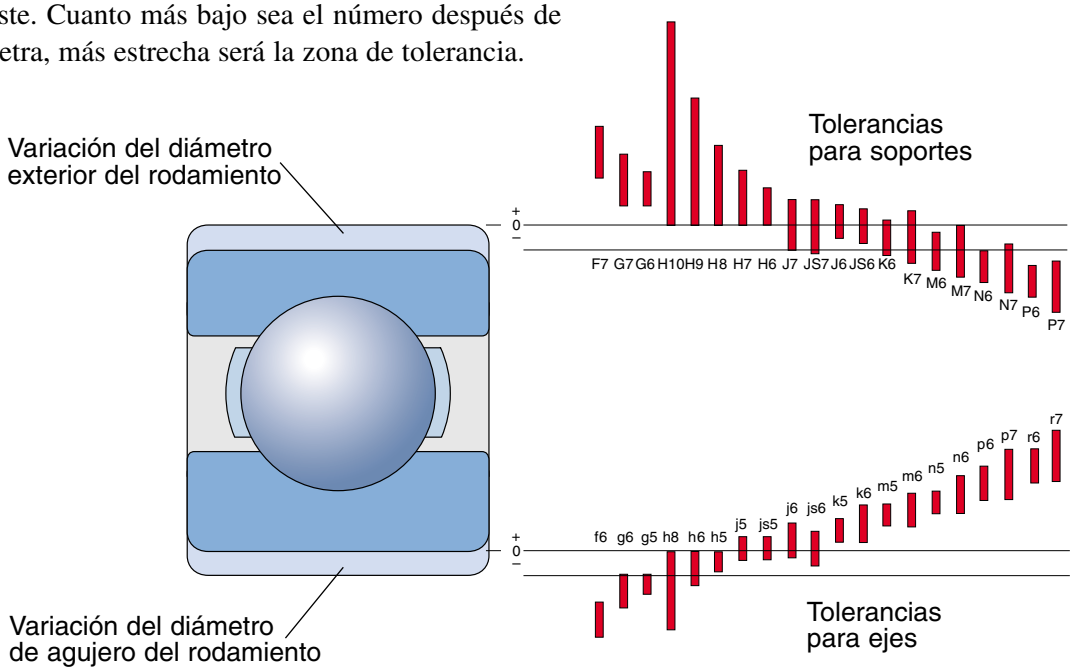
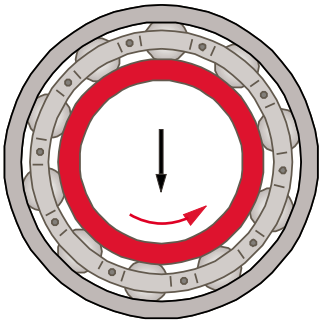

Variación del diámetro exterior del rodamiento
Variación del diámetro de agujero del rodamiento
Tolerancias para soportes
Tolerancias para ejes
+
0
−
F7 G7 G6 H10 H9 H8 H7 H6 J7 JS7 J6 JS6 K6 K7 M6 M7 N6 N7 P6 P7
f6 g6 g5 h8 h6 h5 j5 js5 j6 js6 k5 k6 m5 m6 n5 n6 p6 p7 r6 r7

Fig. 8:1 Tolerancias

Accionamiento por correa



Aro interior: Carga rotativa, utilice un ajuste de interferencia

Aro exterior: Carga fija, utilice un ajuste deslizante

Accionamiento por acoplamiento

Aro interior: Carga indeterminada, utilice un ajuste de interferencia

Aro exterior: Carga indeterminada, utilice un ajuste de interferencia

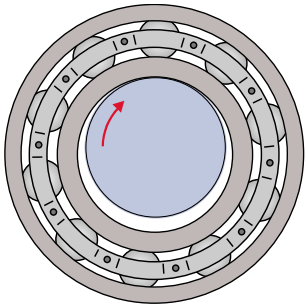
Fig. 8:2 Condiciones de carga en motores eléctricos

Influencia de la magnitud de la carga
Para impedir ”desplazamiento”, el ajuste se debe seleccionar en relación con la carga y el tamaño de rodamiento; cuanto más pesada sea la carga o más grande el tamaño, mayor será el ajuste de interferencia.

Importancia de los ajustes correctos
Si el ajuste es demasiado flojo se producirá un movimiento relativo entre el eje y el aro interior, que ocasionará daños como desgaste, corrosión de contacto y adherencia. Si la carga es pesada, existe el riesgo de que se fracture el aro.

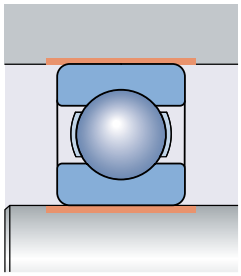
Si el ajuste es demasiado fuerte, se reducirá demasiado el juego interno, lo cual significa una mayor temperatura de funcionamiento y un deterioro de la lubricación. Esto puede ocasionar problemas de dilatación térmica en la máquina y existe el riesgo de fractura del aro.

Demasiado flojo



- **El movimiento relativo genera:**
  - **– desgaste**
  - **– corrosión de contacto**
  - **– adherencia**
- **Riesgo de fractura del aro**

Demasiado fuerte



- **Una reducción excesiva del juego interno implica una mayor temperatura de funcionamiento y un deterioro de la lubricación**
- **Riesgo de fractura del aro**
- **Problemas de dilatación térmica**

Fig. 8:3 El resultado de ajustes incorrectos

Ajustes recomendados

Compruebe con el fabricante del motor los ajustes recomendados. Si no dispone de información, siga las recomendaciones generales de SKF.

Para conseguir el ajuste correcto en rodamientos con agujero cilíndrico y diámetro exterior cilíndrico, seleccione las tolerancias adecuadas del sistema de tolerancias ISO.

Las tablas siguientes contienen recomendaciones para los ajustes de eje adecuados, válidos para ejes macizos de acero y para soportes de fundición y de acero. En la página 38 se ofrece una regla básica para los soportes de aluminio.

Ejemplos de ajustes para ejes macizos de acero
Rodamientos radiales con agujero cilíndrico
Carga rotativa sobre el aro interior o dirección indeterminada de la carga

Condiciones	**Diámetro de eje, mm**			**Tolerancia**
	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos cilíndricos	Rodamientos de rodillos a rótula, y de rodillos toroidales	
Carga ligera y variable (P ≤ 0,06 C)	(18) . . 100 (100) to 140	≤ 40 (40) . . 100	– –	**j6** **k6**
Cargas normales y fuertes (P > 0,06 C)	≤ 18 (18) . . 100 (100) . . 140 (140) . . 200 (200) . . 280	≤ 40 (40) . . 100 (100) . . 140 (140) . . 200 (200) . . 400	≤ 40 (40) . . 65 (65) . . 100 (100) . . 140 (140) . . 280 (280) . . 500 > 500	**j5** **k5** **m5** **m6** **n6** **p6** **r6** [1] **r7** [1]
Cargas muy fuertes y cargas de choque con condiciones de trabajo difíciles	– – –	(50) . . 140 (140) . . 200 > 200	– – –	**n6** [1] **p6** [1] **r6** [1]

[1] Pueden ser necesarios rodamientos con juego interno radial mayor que Normal

Ejemplos de ajustes para soportes de fundición y de acero
Rodamientos radiales – soporte sólido
Dirección de carga indeterminada
(por ejemplo, motores para accionamiento por acoplamiento)

Condiciones	Ejemplos	Tolerancia	Desplazamiento del aro exterior
Cargas ligeras y normales ($P \leq 0{,}12\ C$), desplazamiento axial del aro exterior deseable	Motores eléctricos medianos	**J7**	Se puede desplazar como norma
Cargas normales y pesadas ($P > 0{,}06\ C$), desplazamiento axial del aro exterior innecesario	Motores eléctricos	**K7**	No se puede desplazar como norma
Cargas de choque pesadas	Motores de tracción eléctricos	**M7**	No se puede desplazar
Funcionamiento preciso o silencioso	Motores eléctricos pequeños	**J6** [1]	Se puede desplazar

[1] Cuando se necesite un desplazamiento fácil, use H6 en lugar de J6

Carga fija sobre el aro exterior
(por ejemplo, motores para transmisiones por correa)

Toda clase de cargas	Motores eléctricos	**H7** [2]	Se puede desplazar

[2] Para rodamientos con $D > 250$ mm y diferencia de temperatura entre el aro exterior y el soporte > 10 °C, se debe usar G7 en lugar de H7

Ajustes para soportes de aluminio
La dilatación térmica en los soportes de aluminio es más del doble que en los soportes de fundición y de acero. Para no obtener un ajuste demasiado flojo en funcionamiento, utilice como regla básica una tolerancia del siguiente nivel para el soporte. Por ejemplo, use J7 en lugar de H7.

Para los soportes de aluminio, una solución habitual consiste en montar una junta tórica en una ranura del asiento. Vea la sección ”Disposiciones de rodamientos en motores eléctricos”.

Exactitud de forma y posición
La exactitud de los asientos de rodamiento cilíndricos en ejes y en alojamientos, y de las superficies de apoyo (resaltes para rodamientos proporcionados por el eje y resaltes del alojamiento, etc.) debe corresponder a la exactitud de los rodamientos utilizados. Las tolerancias que se deben considerar son:

- Tolerancias para la forma cilíndrica
- Tolerancias para la perpendicularidad
- Tolerancias para el descentramiento radial y axial total.

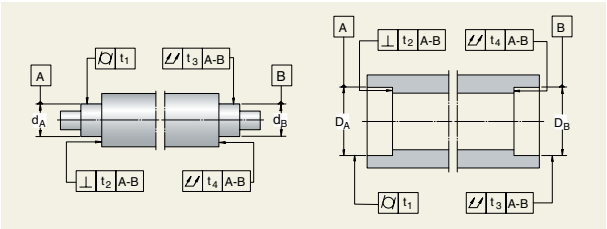


Fig. 8:4 Exactitud de forma y posición

Para más información sobre los ajustes y tolerancias recomendados así como sobre la exactitud de forma y posición, por favor consulte el Manual de Mantenimiento de Rodamientos SKF, el Catálogo General SKF o el Catálogo Interactivo de Ingeniería SKF.

Intercambio de rodamientos

Como norma, un rodamiento dañado se debe sustituir por otro nuevo idéntico. Sin embargo, existe la tendencia a que los rodamientos rígidos de bolas abiertos sean sustituidos por otros obturados o protegidos. En primer término se emplean retenes -2RS1, y en caso de altas velocidades, -2Z ó -2RZ, que tienen las mismas velocidades nominales que los rodamientos abiertos. Los rodamientos están engrasados de por vida, lo cual simplifica el procedimiento de montaje.

Tanto los retenes como la grasa estándar limitan la temperatura de funcionamiento a +110 °C. Para motores que funcionen por encima de 110 °C, por favor consulte con SKF.

Rodamientos de rodillos cilíndricos sustituidos por rodamientos rígidos de bolas

Si se sustituye un rodamiento de rodillos cilíndricos de tipo N o NU por un rodamiento rígido de bolas, se deberá modificar el ajuste del aro exterior para permitir el movimiento axial del aro exterior del rodamiento de bolas. Compruebe también que no hay topes mecánicos que restrinjan este movimiento. Si no se adoptan estas precauciones, el motor se averiará debido a la precarga axial de la disposición de rodamientos.

Esta sustitución es a veces necesaria cuando se reacondiciona un motor de accionamiento por correa para accionamiento por acoplamiento.

Preparativos previos al montaje

Una superficie de trabajo limpia y los métodos y herramientas de montaje correctos ayudan a garantizar unos buenos resultados. El ambiente de montaje deberá estar libre de partículas metálicas, serrín, arena, cemento, sustancias corrosivas, etc. Tan pronto como se haga una pausa del montaje de los rodamientos por cualquier motivo, éstos se deberán proteger inmediatamente de la mejor forma posible.

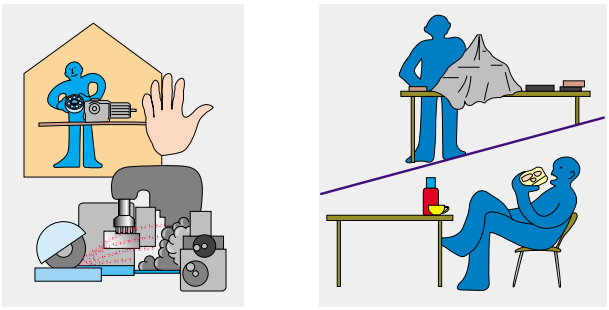


Fig. 8:5 Mantenga limpio el lugar de montaje

Compruebe el eje y el soporte

Compruebe que las dimensiones del asiento y la exactitud de forma corresponden a las especificaciones del plano y/o a las recomendaciones de SKF, vea la sección "Tolerancias y ajustes". Los asientos podrían haberse dañado durante el desmontaje.

Fig. 8:6 Comprobación del eje

¿Cómo medir?

La forma cilíndrica del eje y de los asientos del soporte se comprueban midiendo el diámetro en dos secciones transversales y en cuatro planos, una medición en dos puntos usando un micrómetro.

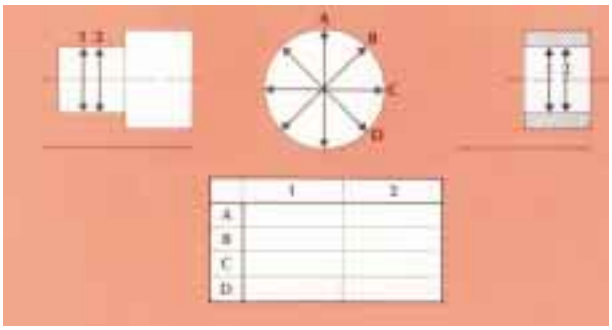


Fig. 8:7 Medición de los asientos de rodamiento

Si, por ejemplo, un eje de 40 mm de diámetro tiene una tolerancia de k6, significa que el diámetro tiene que ser un máximo de 40,018 mm y un mínimo 40,002 mm, y que el rango de tolerancia IT6 = 0,016 mm. Sin embargo, en el Manual de Mantenimiento de Rodamientos SKF comprobamos que el requisito para la forma cilíndrica indica que la variación del diámetro en el mismo asiento debe ser como máximo IT5/2, es decir, 0,011/2 = 0,0055 mm. Así pues, para comprobar adecuadamente los asientos es necesario realizar las mediciones de acuerdo con la figura 8:7.

La planitud del asiento y la perpendicularidad de los resaltes se comprueban con una regla y pintura azul de marcar. Cuando haya motivos para sospechar que los descentramientos radiales y axiales no están en orden, también se deberán comprobar.

Compruebe las especificaciones en los planos de montaje. Anote las mediciones para futura referencia.

Cómo se deben tratar los rodamientos

Los rodamientos nuevos SKF están bien protegidos en sus envases. No los saque de su caja hasta inmediatamente antes del montaje. Deben estar protegidos contra la suciedad todo el tiempo que sea posible. Los rodamientos nuevos tienen las superficies cubiertas por un compuesto antioxidante que no se debe quitar. Limpie solamente la capa protectora del agujero y del diámetro exterior del rodamiento. Use un paño sin hilos sueltos.

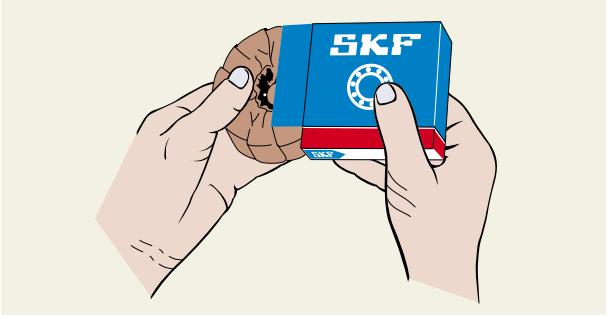


Fig. 8:8 Mantenga el rodamiento en la caja todo el tiempo que sea posible

Montaje en frío

Mantenga los rodamientos limpios en todo momento. Siempre es más fácil evitar que los rodamientos se ensucien u oxiden que limpiarlos después.

Para un montaje correcto, es importante utilizar el método y las herramientas adecuados.

El método apropiado

Aplique una película delgada de aceite ligero en el asiento del rodamiento antes del montaje. La fuerza de montaje se aplicará en el aro con un ajuste de interferencia.

La mejor forma de evitar daños es usar las herramientas de montaje diseñadas específicamente por SKF – la serie TMFT. Estas herramientas aseguran que las fuerzas de calado sean aplicadas correctamente en el anillo que tiene el ajuste de interferencia.

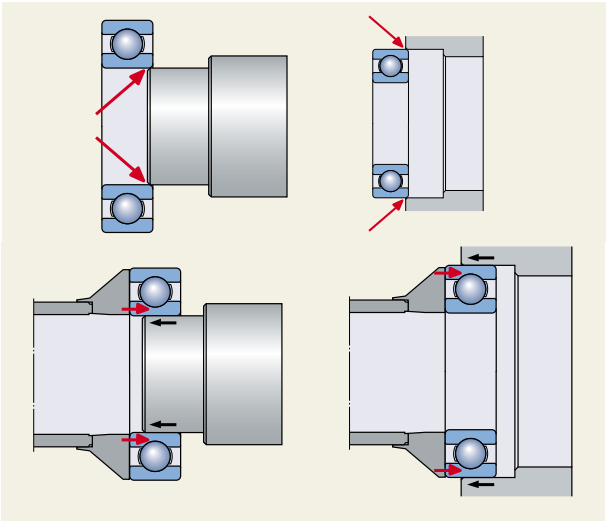


Fig. 8:9 El método apropiado

Las herramientas apropiadas

Los rodamientos pequeños, con un diámetro de agujero de hasta aproximadamente 50 mm, se pueden montar en frío con un martillo y un manguito. Para obtener los mejores resultados, utilice las herramientas de montaje SKF TMFT.

El montaje en frío de los rodamientos de tamaño mediano se realiza frecuentemente con una prensa. Se debe colocar un manguito entre la prensa y el rodamiento, actuando en el aro con el ajuste de interferencia.

Fig. 8:10
Las herramientas apropiadas para montaje en frío – el kit de herramientas de montaje SKF TMFT

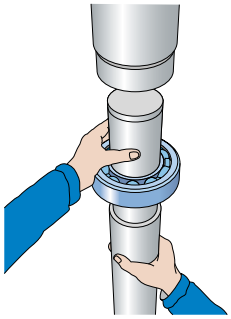


Fig. 8:11 Montaje con una prensa

El montaje de rodamientos con diámetro de agujero menor de 100 mm se puede realizar en muchos casos con una prensa hidráulica o mecánica.

Montaje en caliente

La fuerza necesaria para montar un rodamiento aumenta rápidamente con el tamaño del mismo. Los rodamientos de gran tamaño no se pueden insertar fácilmente en un eje o en un soporte debido a la fuerza de montaje requerida. Para montaje en el eje, caliente el rodamiento. En el ajuste de interferencia del aro exterior, caliente el soporte.

La diferencia de temperatura entre el rodamiento y su asiento depende de la magnitud del ajuste de interferencia y del tamaño del rodamiento. Para el montaje, normalmente es suficiente una temperatura del rodamiento de 80 a 90 °C (175 a 195 °) por encima de la del eje. No caliente nunca un rodamiento a una temperatura superior a 125 °C (255 °F), ya que el material puede experimentar un cambio metalúrgico y producir alteraciones en el diámetro o en la dureza. Debe evitarse el sobrecalentamiento local.

Utilice guantes de protección limpios cuando monte un rodamiento caliente. Un dispositivo de elevación puede facilitar el montaje. Empuje el rodamiento a lo largo del eje hasta su resalte y sujételo en su posición, presionando hasta que se obtenga un ajuste fuerte. Durante el tiempo de enfriamiento, el aro interior debe estar presionado contra el resalte del eje.

Fig. 8:12 Las herramientas apropiadas para montaje en caliente

Las herramientas apropiadas

SKF puede suministrar herramientas de calentamiento, como calentadores por inducción y placas eléctricas con termostato ajustable y tapa, para todas las necesidades normales de montaje.

El calentador por inducción es una herramienta cómoda y fácil de usar cuando se deban calentar los rodamientos.

Cuando un rodamiento precise un ajuste de interferencia en el soporte, un incremento moderado de la temperatura de éste, de 20 a 50 °C (70 a 120 °F), es normalmente suficiente, ya que la interferencia rara vez es grande. Para realizar el trabajo se puede usar un calentador o un baño de aceite. Los calentadores SKF están equipados generalmente con termostatos ajustables. No obstante, es aconsejable utilizar un termómetro independiente para comprobar la temperatura del rodamiento inmediatamente antes del montaje. El termómetro también resulta útil durante las pruebas de funcionamiento y para monitorizar los rodamientos mientras funcionan.

No ponga nunca un rodamiento en contacto directo con los laterales o el fondo de un calentador de aceite.

No caliente nunca un rodamiento usando una llama abierta.

Aspectos a considerar

Hay varias aspectos que se deben considerar en el montaje de los rodamientos. A continuación se ofrecen algunas reglas importantes.

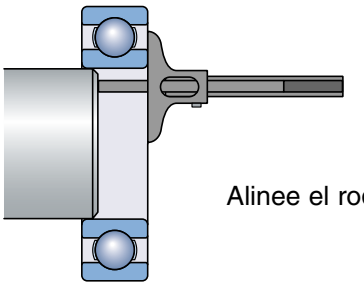
En general

- Mantenga limpio el rodamiento.
- Asegúrese que el rodamiento está montado en ángulo recto con el eje.
- Aplique la fuerza de montaje en el propio aro.
- Recuerde siempre: Los rodamientos se deben manejar con cuidado.

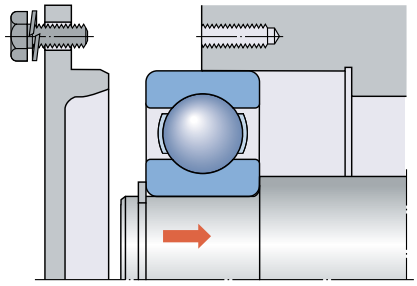
Rodamientos no desarmables

Los rodamientos de este tipo utilizados en motores eléctricos son rodamientos rígidos de bolas, rodamientos de una hilera de bolas con contacto angular, rodamientos de rodillos toroidales CARB y rodamientos de rodillos a rótula.

Los rodamientos INSOCOAT y los rodamientos híbridos están disponibles como rodamientos rígidos de bolas (y como rodamientos de rodillos cilíndricos).

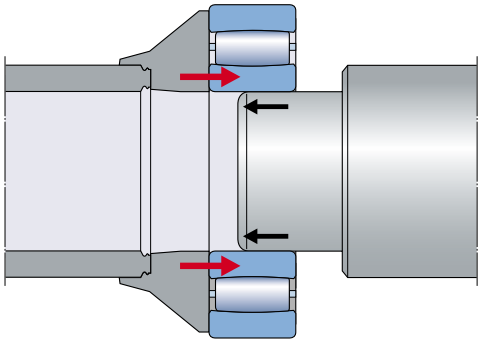


Alinee el rodamiento



Para un ajuste de interferencia en el aro interior, monte primero el rodamiento en el eje. Todos los rodamientos no desarmables se montan de la misma forma

Los rodamientos INSOCOAT y los rodamientos híbridos se montan de la misma forma que el tipo de rodamiento básico



Para montar un rodamiento de rodillos toroidal, CARB, en un eje con ajuste de interferencia, fije también el aro exterior

Fig. 8:13 Montaje de rodamientos no desarmables

Si fuese necesario un ajuste de interferencia para el aro interior, monte primero el rodamiento en el eje. Después, empuje el eje con el rodamiento en el soporte.

Cuando se monten rodamientos CARB en un eje con ajuste de interferencia, se debe fijar el aro exterior.

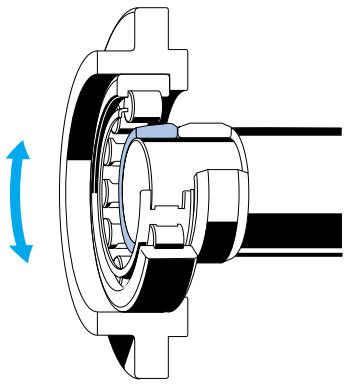
Rodamientos desarmables

De los rodamientos utilizados en motores eléctricos, sólo los de una hilera de rodillos cilíndricos son desarmables. Sus partes se montan generalmente de forma independiente. Suelen tener un ajuste de interferencia tanto en el eje como en el soporte.

En los rodamientos de una hilera de rodillos cilíndricos, los rodillos están guiados axialmente entre pestañas integrales en uno de los aros del rodamiento. El aro con pestaña y la corona de rodillos forman una unidad que se puede separar del otro aro. Esta característica desarmable facilita el montaje. Monte primero el aro desarmable.

Si se trata del aro interior, es posible que se deba usar un calentador por inducción. Si es el aro exterior, fuércelo en el soporte. Lubrique con aceite el camino de rodadura y los rodillos. Use un manguito de entrada, gire el otro aro con la corona de rodillos (o el soporte) y móntelo con cuidado. Asegúrese de que la corona de rodillos no está en ángulo, usando un manguito de guía para volver a comprobar.

Si se monta en ángulo una de las partes del rodamiento, es fácil que se dañe un aro o rodillo, especialmente si los rodillos y los caminos de rodadura no están engrasados o si las partes no se giran durante el montaje.



Aplique aceite en el camino de rodadura y en los rodillos. Utilice un manguito de entrada. Gire el conjunto e instálelo con cuidado

Fig. 8:14 Montaje de rodamientos desarmables

Comprobación de la alineación

Para conseguir una larga duración de servicio de los rodamientos de rodillos cilíndricos, la desalineación entre el eje y el soporte debe ser muy pequeña. Para rodamientos grandes, la alineación entre el aro interior y el exterior se puede comprobar con la herramienta que se muestra en la figura 8:15.

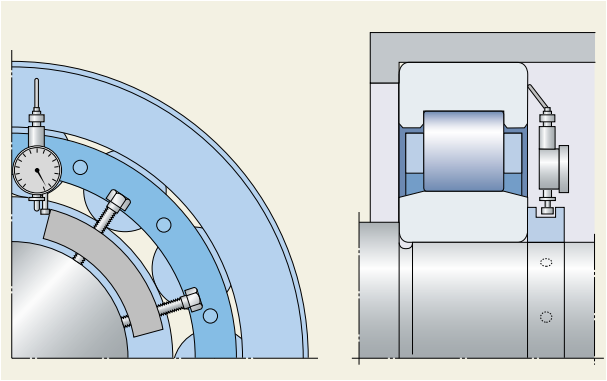


Fig. 8:15 Herramienta para comprobar la alineación

La herramienta consiste en un segmento de acero en el cual se monta un comparador. El segmento tiene dos tornillos que se deben ajustar para obtener un contacto adecuado con el eje. Al comprobar la alineación, el rodamiento debe estar montado en el soporte y en el eje. El segmento se debe presionar tanto contra la cara final del aro interior del rodamiento de rodillos cilíndricos como contra el eje. El comparador debe estar dirigido contra la cara final del aro exterior del rodamiento.

Busque la desviación máxima, dx, entre los dos puntos diametralmente opuestos en la cara final del aro exterior.

Después, calcule el ángulo de desalineación con la fórmula

$$ß = 3438\ d_x/D$$

donde
ß = ángulo de desalineación, minutos de arco
d_x = desviación máxima, mm
D = diámetro exterior del rodamiento, mm

El valor máximo permitido del ángulo de desalineación ß es 4 minutos de arco.

Lubrique los rodamientos

Los rodamientos abiertos que se lubrican con grasa se deben engrasar cuando hayan sido montados en el rotor.

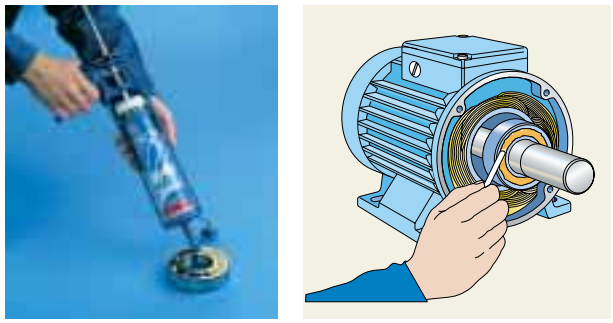


Fig. 8:16 Engrase de los rodamientos

- Para rodamientos de rodillos cilíndricos, llene de grasa el espacio interior de la corona de rodillos.
- Engrase el segundo aro y monte el rodamiento.
- Debido a la falta de espacio, los rodamientos no desarmables se deben llenar con grasa desde el exterior. Por ejemplo, use una pistola de engrasar SKF y compruebe en el lado posterior que la grasa ha penetrado a través del rodamiento y que está lleno al 100 %.
- Llene también con grasa el espacio libre en el soporte hasta el 30–50 %. No llene en exceso.
- Asegúrese en todo momento que la grasa está libre de contaminación.
- Para rodamientos lubricados con aceite, llene el soporte con aceite limpio de acuerdo con la recomendación del fabricante.

Fig. 8:17 Pruebe el motor y escuche los rodamientos

Procedimientos posteriores al montaje

El motor se debe probar una vez que esté completamente montado. Para no dañar los rodamientos, que deben tener siempre una cierta carga, el motor deberá estar cargado.

Sólo en el caso de rodamientos rígidos de bolas, que están cargados por muelle internamente en sentido axial, el motor puede funcionar sin carga externa.

La prueba de funcionamiento es una buena oportunidad para verificar que los rodamientos se han montado correctamente y que no tienen fallos, comprobándolos con un equipo de monitorización SKF. De esta manera, junto con el motor reparado se podrá entregar un informe sobre la condición del rodamiento que, para el cliente, es garantía de un trabajo de calidad.

Antes del transporte, fije el eje con una cinta para evitar que se produzcan daños por vibración en los rodamientos y envuelva el motor.

Fig. 8:18 Fije el eje con una cinta

Fig. 8:19 Envuelva el motor

© SKF 2003
El contenido de esta publicación es propiedad de los editores y no puede reproducirse (incluso parcialmente) sin autorización. Se ha tenido el máximo cuidado para garantizar la exactitud de la información contenida en esta publicación, pero no se acepta ninguna responsabilidad por pérdidas o daños, ya sean directos, indirectos o consecuentes, que se produzcan como resultado de dicha información.

Publicación **5073 SP**
www.skf.com